Cristina Aledi Felsemburgh
(Organizadora)

ENGENHARIA FLORESTAL:

Resultados das pesquisas e inovações tecnológicas

Atena
Editora
Ano 2022

Cristina Aledi Felsemburgh
(Organizadora)

ENGENHARIA FLORESTAL:

Resultados das pesquisas e inovações tecnológicas

Atena
Editora
Ano 2022

Editora chefe
Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Editora executiva
Natalia Oliveira
Assistente editorial
Flávia Roberta Barão
Bibliotecária
Janaina Ramos
Projeto gráfico
Bruno Oliveira
Camila Alves de Cremo
Daphynny Pamplona
Luiza Alves Batista
Natália Sandrini de Azevedo
Imagens da capa
iStock
Edição de arte
Luiza Alves Batista

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Engenharia florestal: resultados das pesquisas e inovações tecnológicas

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Maiara Ferreira
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadora: Cristina Aledi Felsemburgh

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia florestal: resultados das pesquisas e inovações tecnológicas / Organizadora Cristina Aledi Felsemburgh. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-258-0554-2
DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.542221908

1. Engenharia florestal. I. Felsemburgh, Cristina Aledi (Organizadora). II. Título.

CDD 634.928

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

APRESENTAÇÃO

É com enorme prazer que apresentamos o e-book "Engenharia florestal: Resultados das pesquisas e inovações tecnológicas" elaborado para a divulgação de resultados e avanços relacionados às Ciências Florestais. O e-book está disposto em 1 volume subdividido em 05 capítulos. Os capítulos estão organizados de acordo com a abordagem por assuntos relacionados às diversas áreas da Engenharia Florestal. Em uma primeira parte, os capítulos estão de forma a atender as áreas voltadas às tecnologias no setor florestal para mensuração de árvores de forma rápida, menos onerosa e degradante ao ambiente florestal além de informações bibliográficas da geotecnologia no levantamento e estimativas de biomassa e estoque de carbono. E em uma segunda parte, os trabalhos estão estruturados aos temas relacionados aos tratos silviculturais, crescimento das espécies arbóreas, influência e interação da edafoclimatologia na ecologia das espécies. Desta forma, o e-book "Engenharia florestal: Resultados das pesquisas e inovações tecnológicas" apresenta relevantes e promissores resultados realizados por professores e acadêmicos que serão dissertados nesta obra de forma didática. Agradecemos o empenho e dedicação de todos os autores por partilharem ao público os resultados dos trabalhos desenvolvidos por seus grupos de pesquisa. Esperamos que os trabalhos aqui apresentados possam estimular e inspirar outros estudos voltados às Ciências Florestais.

Cristina Aledi Felsemburgh

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

APLICAÇÃO DO CRITERION RD 1000 PARA A COLETA DE DADOS DE CUBAGEM NÃO DESTRUTIVA

Data de aceite: 01/08/2022

Thaila Heberle
Engenheira Florestal, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC
Lages -SC
http://lattes.cnpq.br/7052865263419110

Thiago Floriani Stepka
Engenheiro Florestal, Doutor, professor do curso de Engenharia Florestal e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC
Lages - SC
https://orcid.org/0000-0002-9835-4936

Marcos Felipe Nicoletti
Engenheiro Florestal, Doutor, professor do curso de Engenharia Florestal e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC
Lages - SC
https://orcid.org/0000-0003-4732-0119

RESUMO: Para a obtenção dos volumes, é necessário que seja selecionado um número mínimo de árvores, nas quais são mensurados diâmetros ao longo de suas diferentes alturas, sendo aplicados fórmulas específicas de cubagem para determinação do volume rigoroso. Por se tratar de uma operação que necessita de diâmetros em alturas diferentes, faz-se necessário que as árvores sejam geralmente derrubadas para que exista a possibilidade da medição direta destas variáveis. Porém, em alguns casos a derrubada das árvores não é viável, principalmente quando se trata de árvores nativas ou de alto valor agregado, necessitando de uma maneira alternativa para a coleta desses dados. Neste trabalho, buscou-se demostrar o procedimento necessário para desempenhar a cubagem de uma árvore em pé utilizando o aparelho CRITERION RD 1000. Organizou-se na forma de tópicos todo o processo para coleta das variáveis e apresentou-se um exemplo aplicativo. Pode-se observar que o aparelho é atrativo para a cubagem não destrutiva, no entanto apresenta problemas de visualização dos diâmetros nas posições mais altas do tronco, principalmente pela presença de galhos da copa viva.

PALAVRAS-CHAVE: Volumetria de árvores em pé; Mensuração Florestal.

APPLICATION OF THE CRITERION RD 1000 FOR THE COLLECTION OF NON-DESTRUCTIVE CUBING DATA

ABSTRACT: In order to obtain the volumes, it is necessary to select a minimum number of trees, in which diameters are measured along their different heights, and specific cubage formulas are applied to determine the exact volume. As it is an operation that requires diameters at different heights, it is necessary that the trees are generally felled so that there is the possibility of direct measurement of these variables. However, in some cases the felling of trees is not feasible, especially when it comes to native trees or trees with high added value, requiring an alternative

way to collect this data. In this work, we sought to demonstrate the procedure necessary to perform the cube of a standing tree using the CRITERION RD 1000 device. The entire process for collecting variables was organized in the form of topics and an application example was presented. It can be seen that the device is attractive for non-destructive cubes, however it presents problems in viewing the diameters in the highest positions of the trunk, mainly due to the presence of branches of the live crown.
KEYWORDS: Volumetry of standing trees; Forest Measurement.

1 | APRESENTAÇÃO E JUSTIFICATIVA

O volume de madeira em florestas nativas ou plantadas é usualmente estimado por modelos volumétricos que são desenvolvidos a partir de um conjunto de árvores que representam a população. Para a obtenção dos volumes, é necessário que seja selecionado um número mínimo de árvores, nas quais são mensurados diâmetros ao longo de suas diferentes alturas, sendo aplicados fórmulas específicas de cubagem para determinação do volume rigoroso. Por se tratar de uma operação que necessita de diâmetros em alturas diferentes, faz-se necessário que as árvores sejam geralmente derrubadas para que exista a possibilidade da medição direta destas variáveis. Porém, em alguns casos a derrubada das árvores não é viável, principalmente quando se trata de árvores nativas ou de alto valor agregado, necessitando de uma maneira alternativa para a coleta desses dados.

Considerando esse fato, o equipamento Criterion RD 1000 pode ser utilizado na cubagem de árvores de modo não destrutivo, devido a possibilidade de mensurar os diâmetros ao longo do tronco em alturas conhecidas, possibilitando a cubagem rigorosa das árvores em pé.

O equipamento, embora bastante comum no exterior, não é muito utilizado para esse fim no Brasil, justificando a construção deste texto em língua portuguesa que auxilie os profissionais da área florestal a realizar a cubagem de árvores de maneira não destrutiva.

2 | INTRODUÇÃO

No método tradicional de cubagem para a quantificação de volume de madeira em inventários florestais requer que sejam derrubadas algumas árvores representativas da distribuição diamétrica da população. Porém, a busca por metodologias e equipamentos alternativos usados em inventários florestais, avançam a ponto de ser possível utilizar alguns equipamentos que mensurem diâmetros em diferentes alturas com as árvores em pé.

Dentre estes instrumentos dendrométricos, destaca-se o Criterion RD 1000, que em relação aos modelos anteriores apresenta novidades, como permitir que, por meio de um medidor a laser com barra de graduação, seja possível medir o diâmetro ao longo do tronco com faixa de medição de diâmetro de até 254 cm e precisão de 6 mm até 24 m dependendo da distância, possibilitando o cálculo de volume (CARDOSO e RIBASKI, 2015;

LASERTECH, 2019).

O aparelho antecessor, Criterion RD 400, foi lançado em 1992 após alguns anos de testes. Esse além de portátil e leve, traz funções como: coletor de dados eletrônico, sensor para medir inclinação e para medição de distância com a tecnologia laser (CLARKE, 2012).

Ao avaliar a exatidão dos dendrômetros ópticos Criterion RD 400 e *Counter Calculator Clinometer with Hologram* (RC3H), na cubagem de 175 árvores em pé da *Eucalyptus grandis*, Nicoletti et al. (2015a), observaram que o aparelho Criterion 400 resultou nas melhores estimativas. O instrumento demonstrou erros, subestimados médios de aproximadamente 1cm e 10% na coleta do diâmetro e volume por árvore, respectivamente.

No entanto, mesmo com as vantagens de se aplicar uma abordagem não destrutiva por dispositivos ópticos, algumas limitações são citadas, como dificuldades de visualização e medições nas posições mais altas do tronco, densidade de galhos, proximidade e sobreposição de árvores no entorno, entre outros (WILLIAMS et al., 1999; CLARK et al., 2000; BONAZZA et al., 2015). Essas dificuldades indicam sobretudo a necessidade de estudos que possam demonstrar o uso e acurácia do aparelho, principalmente nas medições em florestas naturais ou árvores de alto valor agregado.

3 | CARACTERIZAÇÃO DO APARELHO

Antes de começar a descrever os procedimentos de coleta de dados com o Criterion, é necessário conhecer suas partes, assim como seus respectivos botões que serão utilizados para as mensurações. A Figura 1 demonstra o aparelho com indicação dos botões e acessório.

Figura 1. Definição dos botões do Criterion. Em que: 1. Lupa; 2. Gatilho; 3. UP; 4. Edit; 5. Back; 6. Mode; 7. Down; 8. Power; 9. Fwd; 10. Enter; 11. Hud; 12. Display; 13. Botões de ajuste de escala; 14. Ocular.

4 I COMO USAR O CRITERION PARA CUBAGEM

Na utilização do Criterion para a cubagem não destrutiva é recomendado a adaptação do aparelho a um tripé ou monopé, facilitando assim a medição dos diâmetros nas exatas alturas da cubagem e minimizando a chance de perder a árvore que está sendo mensurada, como demonstrado na Figura 2. A utilização de um tripé ou monopé auxilia na estabilização do aparelho frente a pequenas oscilações que o operador pode fazer com a mão, que prejudicam a leitura no local correto e acarretam eventuais erros aleatórios de medição.

Figura 2. Criterion RD 1000 acoplado ao tripé.

O posicionamento do aparelho deve possibilitar a observação da árvore inteira, ou seja, da base até a copa por completo. É recomendado que o equipamento fique a uma distância de aproximadamente uma altura e meia da árvore que será mensurada. Porém, no caso da árvore apresentar altura superior a 20 m é necessário que a distância seja menor que a recomendada para mensuração dos menores diâmetros localizados nas maiores alturas. Essa alteração deve ser feita devido a barra laser que mede o diâmetro no visor do equipamento ser maior que o diâmetro a ser mensurado nessas posições. Por conta disso, consequentemente o erro acaba sendo maior nas seções mais altas, conforme verificado em plantio de *Pinus taeda* L. com árvores de até 28 m de altura e em um remanescente florestal com indivíduos de diâmetros diminutos (BONAZZA et al., 2015; NICOLETTI et

al., 2015b). Isso ocorre devido à baixa precisão obtida na coleta de dados com maiores angulações, aumentando a distância da árvore até o aparelho.

Outro fator importante que pode limitar a mensuração dos diâmetros ao longo do fuste é a ausência da lupa no Criterion RD 1000. Sem este acessório, o diâmetro coletado pelo aparelho também será limitado em um valor maior do que o diâmetro real da árvore, principalmente no caso de árvores altas.

A lupa é um item adicional que é adquirido separadamente ao aparelho e apresenta vantagem substancial na mensuração de pequenos diâmetros (Figura 3).

Figura 3. Lupa sendo adicionada ao Criterion RD 1000.

Com o aparelho devidamente posicionado e o apoio nivelado, deve ser coletada a distância entre o aparelho e a árvore a ser mensurada com o auxílio de uma trena.

Ao ligar o aparelho no botão On/Off a primeira opção no display será referente ao valor do FAB (Fator de Área Basal) utilizado para inventário florestal pelo método de Bitterlich. Para utilizar a lupa acoplada ao Criterion, deve ser pressionado o botão “MODE” (Figura 4a) até aparecer a opção “Prcnt”, então pressionado o botão “FWD” (Figura 4b) e na opção “Sys” pressionar o botão UP (Figura 4c), então será ativada a função MAG que redimensionará os diâmetros do aparelho para a coleta de dados.

É muito importante verificar se a função MAG está acionada, onde esta palavra sempre estará aparecendo nas telas (canto inferior esquerdo) do display conforme a Figura

4c. Em caso positivo, a lupa obrigatoriamente deverá ser acoplada. Este dispositivo e configuração deverá ser acionado sempre que pretende-se mensurar árvores de diâmetros pequenos ou para mensurar diâmetros em posições superiores dos fustes que apresentam esta característica.

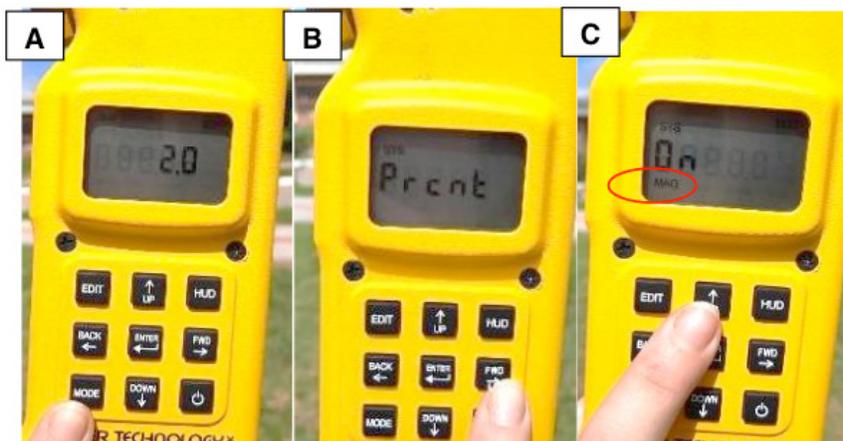



Figura 4. Ativação da opção MAG. A) Aparelho ligado demonstrando o botão MODE; B) Opção Prcnt no aparelho e indicação do botão FWD; C) Função SYS ativada pelo botão UP.

Para mensurar diâmetros em diferentes alturas deve-se seguir os seguintes passos:

1. Pressione o botão MODE 4 vezes, até que apareça a opção DIAMETER (Figura 5a);

2. Nessa tela terá a opção de adicionar a distância conhecida do Criterion até a árvore. Pressione o botão EDIT e altere o valor da distância com as setas, sendo UP para aumentar o valor, DOWN para diminuí-lo e as laterais para selecionar qual casa numérica será alterada (Figura 5b);

3. Com a distância adicionada, selecione o botão ENTER e logo em seguida aparecerá a palavra BASE (Figura 5c);

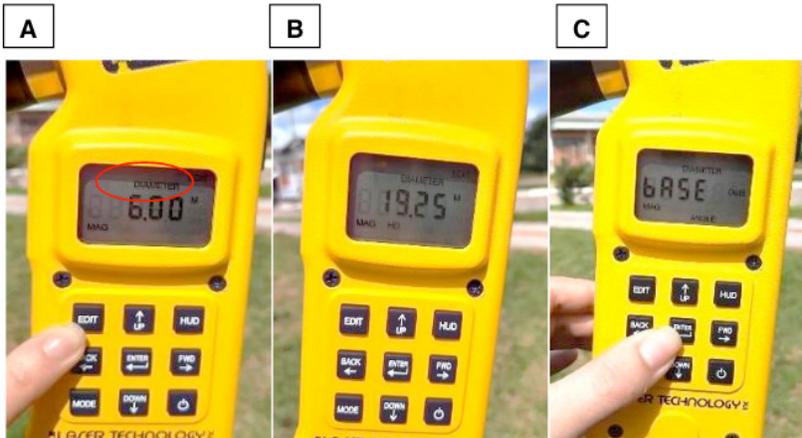



Figura 5. A) Aparelho na função DIAMETER indicando o botão EDIT; B) Alteração da distância feita; C) Solicitação da indicação da base da árvore e indicando o botão ENTER.

4. Olhe dentro da ocular do aparelho e mire o alvo para a base da árvore;

5. Em seguida, pressione o gatilho na frente do aparelho até que saia a opção “base” (Figura 6a);

6. Com a base coletada, ao pressionar novamente o gatilho o Criterion indicará o valor da altura da mira com relação a base;

7. Mantenha pressionado o gatilho e incline o aparelho até o valor da primeira seção da cubagem desejada, quando encontrada solte o gatilho;

OBS1.: Os valores do ângulo da base (passo 6), as alturas (passo 7), assim como os diâmetros observados no passo 8 em diante, aparecerão no display do aparelho, que poderão ser observados por um ajudante, ou por meio de uma led vermelha conforme representado na Figura 6b.

8. Em seguida o aparelho irá pedir o diâmetro conforme a visada dentro da mira, apresentado como barras de escala, que devem ser ajustadas no tronco da árvore (Figura 6b).

9. Altere o diâmetro do aparelho pressionando os botões de ajuste de escala, sendo o lado esquerdo para diminui-lo e o lado direito para aumenta-lo (Figura 6c). As barras de escala devem estar bem na margem do tronco da árvore;

OBS2.: Quando se está fazendo as medições dos diâmetros as barras de escala podem aparecer na forma de GAP ou Solid (SLd) (Figura 7a e 7b respectivamente). Para configurar essa função é necessário pressionar o botão HUD até aparecer a nova barra de escala.

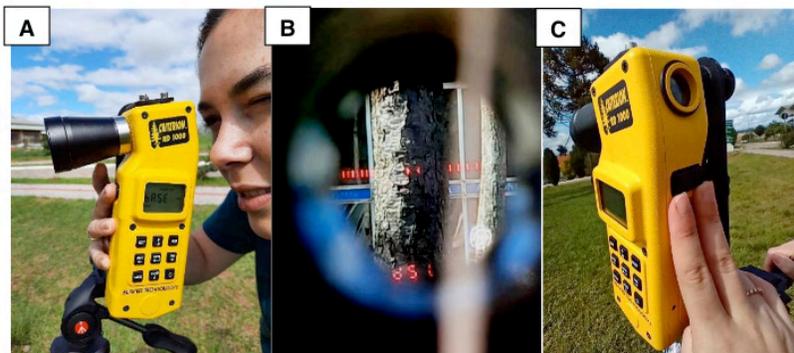



Figura 6. A) Aparelho mirado na base e indicação do gatilho; B) Visada do aparelho para a coleta do diâmetro; C) Indicação dos botões para alteração da escala na coleta do diâmetro.

10. Ao mensurar o valor do diâmetro correspondente à seção mantenha pressionado o gatilho e incline o aparelho novamente até a próxima altura desejada e então solte quando a encontrar;

11. Colete o diâmetro novamente da mesma forma para as consecutivas alturas da árvore, ajustando as barras de escala bem na margem do tronco da árvore, bem como na Figura 7;

12. E assim se repete o procedimento até a última seção da cubagem.

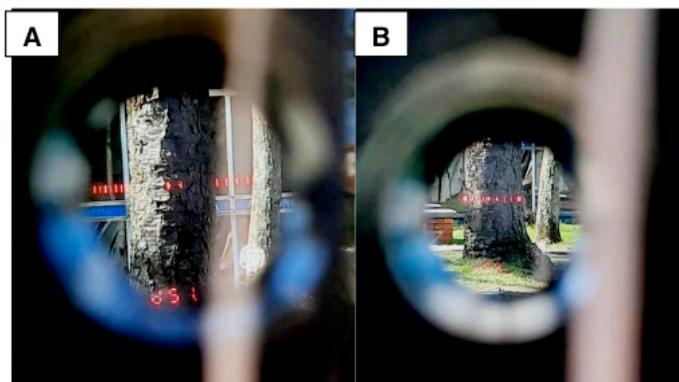



Figura 7. Demonstração das opções de posições das barras de escalas.

GAP; B) SLd.

5 I EXEMPLO APLICATIVO

Na sequência será demonstrado o procedimento de obtenção dos diâmetros de uma árvore ao longo do tronco e demonstrando o cálculo do seu volume pelo método de Smalian. Para tanto, primeiramente foi medida a distância da árvore até o aparelho com

o auxílio de uma trena, observando o centro do aparelho, bem como adicionando o valor (Figura 8). Para isto, pressionou-se o botão MODE 4 vezes até que aparecesse no display a opção DIAMETER. Na sequência pressionou-se o botão EDIT para ajustar a distância horizontal (com as setas do teclado), neste caso 21,1 m. Para registrar, pressionou-se o botão ENTER.

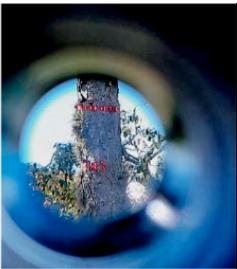
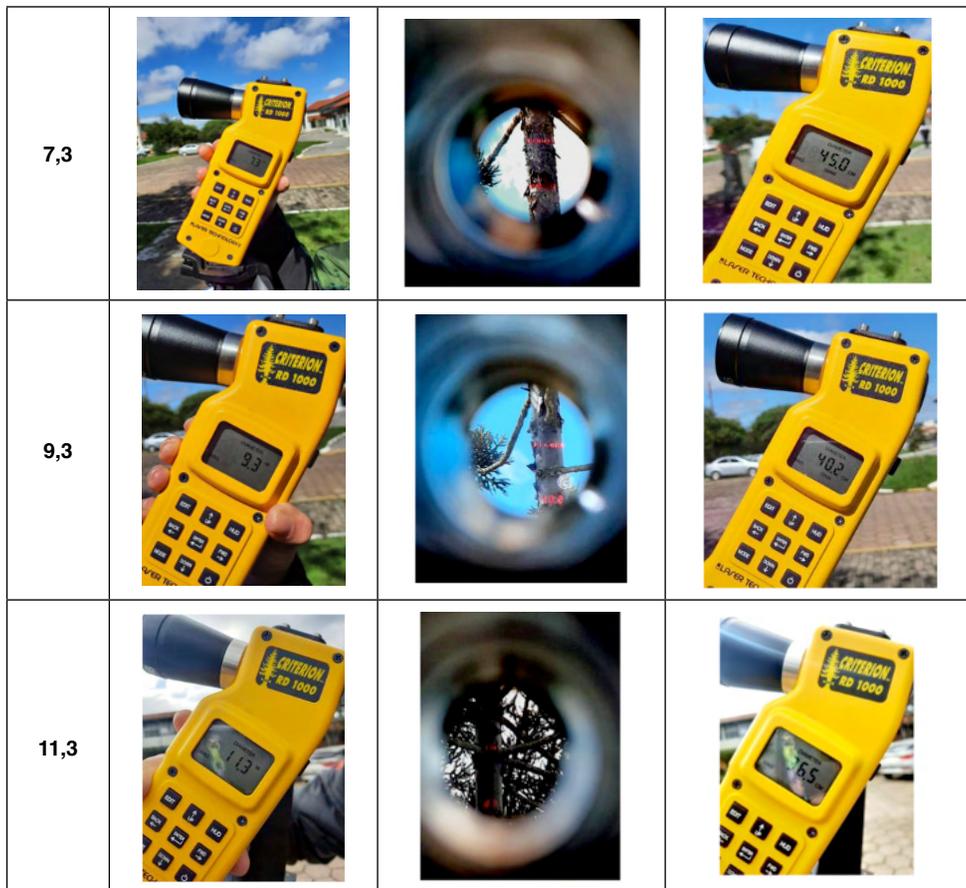
OBS.: Quando seleciona a opção DIAMETER ficará oscilando as letras HD na parte inferior do display.

Para medir a altura total da árvore, usa-se a mesma função DIAMETER, com a distância horizontal já estabelecida, devendo-se pressionar o botão ENTER para registrar e seguir os seguintes passos: posicionar a visada na base da árvore; pressionar o gatilho, mantê-lo pressionado e subir até o topo da copa da árvore. Ainda com o gatilho pressionado será possível visualizar a altura total no display e na led vermelha dentro da ocular, observando-se o valor de 13,1 m.

Para essa cubagem, foram determinadas as seguintes alturas como referências para as seções do método proposto: 0,1 m, 1,3 m, 3,3 m, 5,3 m, 7,3 m, 9,3 m e 11,3 m (Quadro 1). Essa determinação das seções pelo aparelho é feita com a inclinação do mesmo após a indicação da base da árvore, como mencionado nos tópicos 1 ao 7.

Figura 8. A) Distância mensurada do aparelho até a árvore; B) Distância conhecida adicionada ao Criterion.

No Quadro 1 estão representadas alturas das seções obtidas na cubagem, fotografia da altura da seção observada no display do aparelho, fotografia da ocular visualizando o diâmetro obtido pelo ajuste da barra de escalas e a fotografia do display apresentando o diâmetro obtido.

Altura (m)	Display demonstrando a altura da seção	Visor com a ocular demonstrando o diâmetro obtido	Display com o valor do diâmetro obtido
0,1			
1,3			
3,3			
5,3			

Quadro 1. Exemplo de cubagem não destrutiva com o uso do Criterion RD 1000.

Aplicando-se a fórmula de Smalian (Equação 1) e a fórmula do volume da ponta (Equação 2) pode-se calcular o volume de cada seção da árvore e, somando-as (Equação 3), obteve-se o volume da árvore (Quadro 2).

$$v_i = \left(\frac{g_i + g_{(i+1)}}{2}\right) \times \left(h_{(i+1)} - h_i\right) \qquad \text{(Equação 1)}$$

$$v_p = \frac{g_{ii} \times (h - h_{ii})}{3} \qquad \text{(Equação 2)}$$

$$v = \sum(v_i) + v_p \qquad \text{(Equação 3)}$$

Em que:

v_i = volume da i-ésima seção (m³);

g_i = área transversal determinada na altura h_i (m²);

$g_{(i+1)}$ = área transversal determinada na altura $h_{(i+1)}$ (m²);

h_i = altura da extremidade i da seção (m);

$h_{(i+1)}$ = altura da extremidade i+1 da seção (m);

h_{ii} = Altura da extremidade superior da última seção (m);

v_p = volume da ponta (m³);

g_{ii} = área transversal obtida na altura ii (m²);

h = altura total da árvore (m);

v = volume total da árvore (m³)

h_i (m)	d_i (cm)	g_i (m²)	v_i (m³)
0,1	63,4	0,3157	0,3077
1,3	50,1	0,1971	0,3662
3,3	46,4	0,1691	0,3433
5,3	47,1	0,1742	0,3333
7,3	45	0,1590	0,2860
9,3	40,2	0,1269	0,2315
11,3	36,5	0,1046	0,0628
Total	-	-	**1,9308**

Quadro 2. Desenvolvimento do cálculo da cubagem pelo método de Smalian.

Para o exemplo de aplicação, observou-se que o volume total da árvore foi de 1,9308 m³.

No desenvolvimento da cubagem rigorosa pode existir a impossibilidade de observação de diâmetros ao longo do tronco, principalmente da porção do fuste com presença de galhos da copa viva, que geralmente ocorre no último ponto de mensuração, conforme pode ser observado na Figura 9.

Figura 9. Impossibilidade de visualização da medição do diâmetro pela presença de galhos.

Uma alternativa a esta situação é mudar o posicionamento do equipamento para um lugar que seja possível identificar o diâmetro na altura desejada, ou então interpolar o diâmetro nesta altura usando como referência os dois últimos diâmetros observados (Equação 4).

$$d_{int} = d_f - \left[\frac{(h_s - h_f).(d_i - d_f)}{(h_f - h_i)}\right] \quad \text{(Equação 4)}$$

Em que:

d_{int} = diâmetro interpolado (cm);

d_f = diâmetro da extremidade mais alta da última seção mensurada (cm);

d_i = diâmetro da extremidade mais baixa da última seção mensurada (cm);

h_f = altura em que foi obtido o diâmetro d_f (m);

h_i = altura em que foi obtido o diâmetro d_i (m);

h_s = altura em que não se conseguiu mensurar o diâmetro (m).

A seguir será representado um cenário alternativo, onde a realidade apresentada na Figura 9 pudesse acontecer no último ponto de mensuração (11,3 m), substituindo-se os valores obtidos na cubagem na Equação 4, tem se:

$$d_{int} = 40{,}2 - \left[\frac{(11{,}3 - 9{,}3).(45 - 40{,}2)}{(9{,}3 - 7{,}3)}\right] = 35{,}4\ cm$$

Em seguida, com a estimativa do diâmetro à altura 11,3 m, pode-se refazer a cubagem conforme de mostrado no Quadro 3.

h_i (m)	d_i (cm)	g_i (m²)	v_i (m³)
0,1	63,4	0,3157	0,3077
1,3	50,1	0,1971	0,3662
3,3	46,4	0,1691	0,3433
5,3	47,1	0,1742	0,3333
7,3	45	0,1590	0,2860
9,3	40,2	0,1269	0,3187
11,3*	35,4*	0,0984*	0,0591*
Total	-	-	**1,9209**

* Posição em que o d_i foi estimado por interpolação utilizando a Equação 4.

Quadro 3. Desenvolvimento do cálculo da cubagem pelo método de Smalian, usando o diâmetro interpolado na última seção.

Observou-se que o volume estimado, considerando o diâmetro interpolado tomado a 11,3 m de altura, foi de 1,9209 m³.

6 I CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aparelho apresenta grande viabilidade na coleta dos dados de cubagens, devido a ser leve e prático para o transporte no campo, diminuir tempo de coleta dos diâmetros da cubagem e os custos no inventário florestal, além de apresentar baixo erro na estimativa dos diâmetros, segundo os estudos recentes. Porém ainda são necessários mais estudos para melhorar a sua metodologia na coleta dos dados, a fim de diminuir ainda mais o erro na estimativa do volume da árvore.

Além disso, a sobreposição de árvores e, principalmente, galhos dificultam a coleta dos diâmetros ao longo do tronco, ou seja, em plantios sem manejo ou em florestas nativas será mais difícil a utilização do aparelho.

REFERÊNCIAS

BONAZZA, M.; SAMPIETRO, J. A.; SILVESTRE, R.; NICOLETTI, M. F.; LIMA, G. C. P.; SILVA, A. L.; MORÉS, D. F.; RODRIGUES, A. L. Accuracy of Non-Destructive Volumetric Estimates in Stands of *Pinus taeda* L. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v.9, n.31, p.71-79, 2015.

CARDOSO, D. J.; RIBASKI, J. **O uso do dendrômetro 'Criterion' para quantificação do volume por método não destrutivo**. Colombo: Embrapa Florestas, Documentos 288. 2015.

CLARK, N. A.; WYNNE, R. H.; SCHMOLDT, D. L. A review of past research on dendrometers. **Forest Science**. Washington, v.46, n.4, p.570-576, 2000.

CLARKE, A. B. **LTI historical moment: the Criterion**. 2012.

LASERTECH. Laser Technology, Inc**. Criterion® RD 1000**. LASERTECH, 2019.

NICOLETTI, M. F.; BATISTA, J. L. F.; CARVALHO, S. P. C.; CASTRO, T. N. Exatidão de dendrômetros ópticos para determinação de volume de árvores em pé. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 25, n. 2, p. 395-404, abr./jun. 2015a.

NICOLETTI, M. F.; SILVA, E; FLORIANI, M. M. P. Metodologia não destrutiva para quantificação do volume e biomassa do fuste em remanescente florestal. **Nativa**, Sinop, v.3, n.4, p. 287-291, 2015b.

WILLIAMS, M. S.; CORMIER, K. L.; BRIGGS, R. G.; MARTINEZ, D. L. Evaluation of the Barr & Stroud FP15 and Criterion 400 Laser Dendrometers for Measuring Upper Trunk Diameters and Heights. **Forest Science**. Washington, v.45, n.1, p.53-61, 1999.

CAPÍTULO 2

GEOTECNOLOGIAS EMPREGADAS NO INVENTÁRIO DE BIOMASSA E CARBONO EM FLORESTAS: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Data de aceite: 01/08/2022
Data de submissão: 10/06/2022

Paulo Henrique de Souza
Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais – IF do Sudeste de Minas Gerais – Campus Rio Pomba
Rio Pomba, MG
https://orcid.org/0000-0003-1932-8949

Marcos Vinicius Winckler Caldeira
Universidade Federal do Espírito Santo
Jerônimo Monteiro, ES
http://orcid.org/0000-0003-4691-9891

William Macedo Delarmelina
Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Ibatiba
Ibatiba, ES
https://orcid.org/0000-0001-9347-9441

Gabriel Soares Lopes Gomes
Universidade Federal do Espírito Santo
Jerônimo Monteiro, ES
https://orcid.org/0000-0002-3211-3929

Robert Gomes
Universidade Federal do Espírito Santo
Jerônimo Monteiro, ES
https://orcid.org/0000-0003-3004-0049

Victor Braga Rodrigues Duarte
Universidade Federal do Espírito Santo
Jerônimo Monteiro – ES
https://orcid.org/0000-0002-4958-6810

Hivo Reblin Eufrasio
Universidade Federal do Espírito Santo
Jerônimo Monteiro – ES
https://orcid.org/0000-0002-5707-6693

Cássia dos Santos Azevedo
Universidade Federal do Espírito Santo
Jerônimo Monteiro – ES
https://orcid.org/0000-0001-5835-319X

Marcello Zatta Péres
Universidade Federal do Espírito Santo
Jerônimo Monteiro – ES
https://orcid.org/0000-0001-8030-8619

RESUMO: A preocupação com a ocorrência de eventos climáticos extremos vem tornando-se recorrente na atualidade. O uso de geotecnologias é uma ferramenta indispensável para a análise desses cenários, já que garantem precisão, agilidade e baixo custo. Neste estudo, objetivou-se conhecer a evolução dos estudos desta ciência para inventariar biomassa e carbono em florestas. O método escolhido foi a revisão bibliométrica, sendo este dividido em cinco etapas. A base de dados escolhida nesta pesquisa foi o Science Direct (Elsevier). A busca foi realizada para as áreas de Agricultura e Ciências Biológicas; Ciências Ambientais; e Engenharia. No total, foram amostradas 37 publicações, todas em inglês. De modo geral, percebeu-se que as geotecnologias empregadas foram o Sistema de Informações Geográficas (SIG) e o Sensoriamento Remoto (SR). Além disso, foi observado o emprego das técnicas de geoprocessamento para grandes extensões de

terra, com o princípio de mapear as tipologias de cobertura da terra. Assim, a técnica do sensoriamento remoto constitui-se numa poderosa ferramenta na estimativa da biomassa e do estoque de carbono nas florestas. No entanto, para pequenas áreas, o seu uso pode apresentar menor precisão do que a determinação feita pelo método direto.
PALAVRAS-CHAVE: Bibliometria; Sensoriamento Remoto; Sequestro de Carbono; Sustentabilidade Florestal.

GEOTECHNOLOGIES APPLIED TO CARBON AND BIOMASS INVENTORY IN FORESTS: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS

ABSTRACT: The concern with the occurrence of extreme climatic events has become recurrent nowadays. The use of geotechnologies is an indispensable tool for the analysis of these scenarios, since they guarantee precision, agility and low cost. The objective of this study was to understand the evolution of the studies of this science to inventory biomass and carbon in forests. The method chosen was a bibliometric review, divided into five stages. The database chosen for this research was the Science Direct database (Elsevier). The search was carried out focusing on areas such as Agriculture and Biological Sciences; Environmental Sciences; and Engineering. In total, 37 publications were sampled, all of them in English. In general, it was noticed that the geotechnologies employed were related to Geographic Information System (GIS) and Remote Sensing (RS). Furthermore, the employment of geoprocessing techniques was observed for large land extensions, with the principle of mapping land cover typologies. Thus, the remote sensing technique is a powerful tool in estimating biomass and carbon stock in forests. However, for small areas, its use may be less accurate than the direct method.
KEYWORDS: Bibliometrics; Remote Sensing; Carbon Sequestration; Forest Sustainability.

1 I INTRODUÇÃO

É cada vez mais recorrente na sociedade atual a preocupação com a ocorrência de eventos climáticos extremos relacionados ao aquecimento do planeta e as mudanças climáticas (GOMEZ-ZAVAGLIA; MEJUTO; SIMAL-GANDARA, 2020). Alinhado a isto, a comunidade científica tem desenvolvido diversas pesquisas a fim de entender este processo, e como evitá-lo ou reduzir os seus efeitos. Dentre os ecossistemas terrestres, as florestas, e seus solos, se destacam como grandes sumidouros de carbono, capazes de mitigar as emissões de CO_2 e a ação do efeito estufa (VOLKOVA et al., 2015).

Diversos estudos buscam quantificar o carbono estocado, tanto no solo, quanto na biomassa de formações florestais. Dentre as formas de quantificação, Sanquetta et al. (2014) citam que a quantificação da biomassa e do carbono pode ser feita de duas maneiras: 1) pelo método direto - onde o material investigado (árvore ou solo, por exemplo) é amostrado, pesado e determinado os teores de carbono; e 2) pelo método indireto - onde a biomassa e o carbono são determinados de forma indireta.

Devido à complexidade da superfície terrestre e das extensas áreas ocupadas pelas florestas, o uso de geotecnologias é indispensável para uma maior abrangência dos

estudos que visam inventariar os estoques de biomassa e carbono nestes ecossistemas (DA COSTA et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2021). Utilizando as ferramentas corretas que garantam precisão, agilidade e baixo custo, estas novas metodologias se mostram extremamente valiosas para a comunidade científica e para a sociedade em geral.

A espacialização dos dados em mapas que anteriormente constituíam apenas ferramentas de localização, se tornaram uma ferramenta poderosa e rica em informações. Dentre estes avanços tecnológicos, o advento das geotecnologias, em especial o sensoriamento remoto e o Sistema de Informações Geográficas (SIG) se destacam (FITZ, 2008). Tratam-se de ferramentas interdisciplinares, com alto investimento tecnológico e replicabilidade.

Diante da importante contribuição das geotecnologias aplicadas na área florestal, esta revisão bibliométrica tem por objetivo conhecer a evolução dos estudos desta ciência para inventariar biomassa e carbono em florestas.

2 I METODOLOGIA

2.1 Método de pesquisa

A revisão bibliométrica ou bibliometria foi o método escolhido para esse estudo. Esta por sua vez, tem por objetivo realizar a busca por artigos relevantes dentro de uma temática específica. Ela distingue-se da revisão bibliográfica tradicional já que apresenta não apenas uma visão generalizada sobre um determinado assunto, mas é elaborada com o intuito de identificar e comparar as informações obtidas de uma base restrita de dados (MACEDO; BOTELHO; DUARTE, 2010).

2.2 Critérios de inclusão, fonte de dados e seleção de estudos

A estratégia para a elaboração da revisão bibliométrica sobre geotecnologias empregadas para inventariar biomassa e carbono em florestas compreendeu os seguintes passos:

1º passo - Escolha da base de dados

A base de dados escolhida nesta pesquisa foi o Science Direct (Elsevier). Esta base de dados é interessante, pois ela disponibiliza publicações da Elsevier e de outras editoras científicas, cobrindo as áreas de Ciências Biológicas, Ciências da Saúde, Ciências Agrárias, Ciências Exatas e da Terra, Engenharias, Ciências Sociais Aplicadas, Ciências Humanas e Letras e Artes.

2º passo - Escolha das palavras-chave

Optou-se por palavras-chave escritas em inglês. Isto porque os artigos, quando publicados em português, sempre apresentam a tradução do resumo na forma de *abstract*, aumentando a possibilidade de encontrar trabalhos relacionados ao tema de pesquisa.

Salienta-se ainda que, caso fossem utilizadas as palavras-chave em português, haveria o risco de artigos internacionais serem excluídos da pesquisa. As palavras-chave escolhidas foram: *forest*, *biomass*, *carbon*, sendo essas associadas no sistema de busca avançada com o termo *geoprocessing*.

A busca foi realizada para as áreas: Agricultura e Ciências Biológicas; Ciências Ambientais; e Engenharia. No total, foram amostradas 37 publicações.

3º passo - Aplicação do filtro de pesquisa "Journal"

Com a aplicação deste filtro foram encontrados 36 artigos de revistas científicas, dentre as 37 publicações observadas inicialmente (Figura 1).

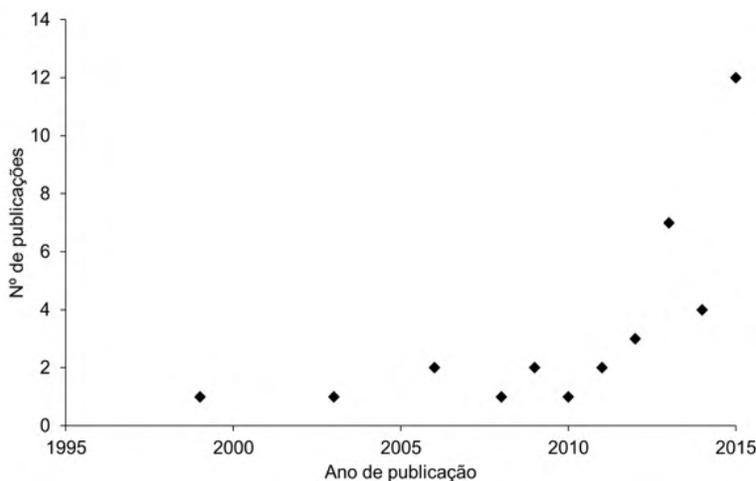



Figura 1 - Número de artigos publicados relacionadas com o tema geotecnologias empregadas para estimativa de biomassa e carbono em florestas.

Entre os anos de 1999 e 2011, os artigos relacionados ao tema não ultrapassaram duas publicações por ano. A partir do ano de 2012 houve um aumento considerável no número de artigos publicados, chegando a 12 no ano de 2015 (Figura 1).

Das 37 publicações, 32 foram divulgadas em 20 periódicos diferentes (Figura 2). Nove periódicos publicaram apenas 1 artigo cada um; dez periódicos publicaram 2 artigos cada um; e o *Forest Ecology and Management* se destacou dos demais periódicos, dispondo de 3 artigos publicados.

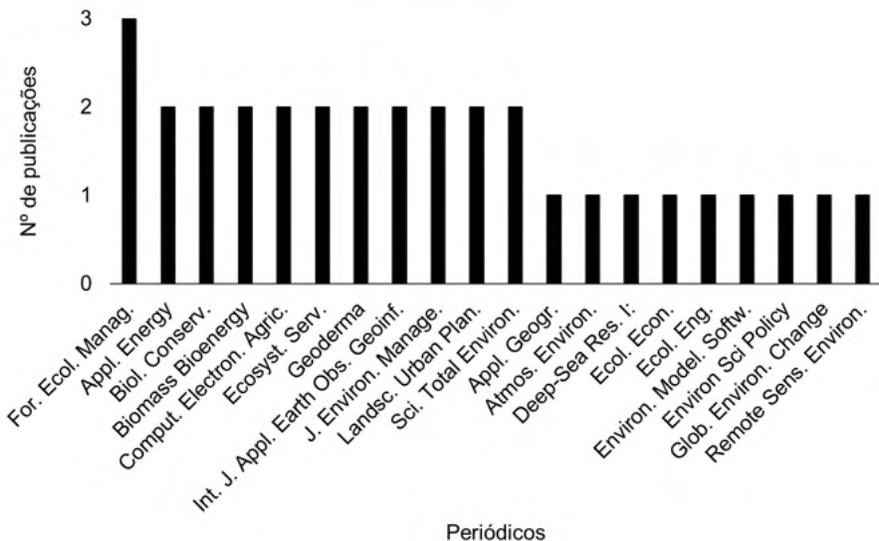



Figura 2 - Principais periódicos com os artigos relacionados a geotecnologias empregadas para estimativa da biomassa e carbono.

4º passo - Leitura dos títulos dos 36 artigos de jornal

A leitura dos artigos listados no passo anterior foi realizada para verificar a sua relação com o tema de pesquisa. Aplicando-se este critério, foram selecionados 16 artigos.

5º passo - Leitura do resumo e metodologia

De forma cuidadosa, realizou-se a leitura do resumo e metodologia dos 16 artigos selecionados para verificar a aderência com o tema de pesquisa. Posteriormente, foram selecionados 7 trabalhos científicos considerados elementares sobre geotecnologias empregadas para estimativa de carbono e biomassa em florestas.

6º passo - Análise dos artigos elementares

O último passo aplicado nesta revisão bibliométrica foi a análise crítica dos artigos selecionados a fim de sumarizar os tipos e características das geotecnologias empregadas e os principais resultados alcançados.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

De modo geral, percebeu-se que as geotecnologias empregadas foram o Sistema de Informações Geográficas (SIG) e o Sensoriamento Remoto (SR). Além disso, observou-se o emprego das técnicas de geoprocessamento para grandes extensões de terra, com o princípio de mapear as tipologias de cobertura da terra e, a partir da calibração com dados amostrais de biomassa e carbono obtidos em campo ou utilizando valores de referência, as estimativas destes parâmetros foram extrapoladas para a cena (área contemplada na imagem geoespacial).

Ao utilizarem veículos aéreos não tripulados (VANT), acoplados com sensores remotos, Zahawi et al. (2015) aplicaram uma metodologia denominada de ''Ecosynth'' em áreas de restauração de floresta tropical, com idade entre 7 e 9 anos, no sul da Costa Rica. Neste estudo, foram relacionadas alturas do dossel obtidas por meio da "Ecosynth" e a biomassa acima do solo obtida pelo método tradicional de inventário em campo. Os resultados encontrados mostraram forte correlação (R^2 = 0,81) entre estas variáveis, indicando que a metodologia adotada foi eficiente, além de ser mais rápida e menos dispendiosa do que o método tradicional.

O estudo realizado por Black et al. (2014) indicou a importância de estimar com maior precisão o carbono orgânico estocado nos solos sob florestas na Irlanda. Partindo de um modelo já existente e muito utilizado para estimar carbono orgânico no solo (COS) denominado de YASSO, estes autores utilizaram um banco de dados de COS que leva em consideração a variação espacial e altitudinal (obtido por meio de SIG) e incluindo estas, como variáveis dependentes, conseguiram calibrar este modelo, o que fez diminuir o resíduo e aumentar a sua precisão.

A metodologia empregada por Black et al. (2014) compreendeu o uso de um modelo de elevação digital com resolução de 50 m para produzir a elevação média dos pontos de amostragem e a função estatística do ArcGIS 9.3 para estimar a significância destas alturas por meio da análise de regressão. Numa análise crítica, este estudo mostra que a metodologia empregada combinou resoluções espaciais, ferramentas e modelos já existentes no meio científico, sendo a interação destes fatores a principal inovação alcançada.

Sob a ótica dos serviços ambientais prestados pelas florestas e diante da crescente demanda por áreas em função da expansão da agricultura, Tejada et al. (2015) utilizaram um modelo de espacialização denominado LuccME para prever o futuro do desmatamento em terras baixas na Bolívia. Este modelo permite o uso de escalas múltiplas, integrando várias entradas e resoluções espaciais. Nesse estudo, o desmatamento foi considerado como variável independente, enquanto as variáveis dependentes foram os fatores socioeconômicos, meio ambiente e conectividade entre as áreas.

Os resultados do trabalho citado acima apontaram que, em 2050, o cenário de devastação florestal para as terras baixas da Bolívia será equivalente a uma área de 17.698.786 ha. Além disso, o montante de áreas degradadas chegará aos 25.698.327 ha. Os autores ainda complementam que esta projeção pode ser alterada em função de ações e decisões políticas.

Ao analisar o trabalho realizado em Tejada et al. (2015), este tipo de pesquisa traz à comunidade, em geral, grande apreensão pelos vultosos valores de desmatamentos apresentados. No entanto, uma previsão da estimativa da taxa de desmatamento por um longo período é uma excelente ferramenta na tomada de decisões por parte dos governantes.

As florestas constituem grandes sumidouros de carbono e a conversão destas áreas para a agricultura, ainda mais com alto revolvimento de solo, pode acelerar a passagem do carbono para a atmosfera na forma de gás (CO_2) e contribuir para o aquecimento global do planeta (RAJÃO et al., 2020). Se forem realizadas medições em campo do estoque de carbono contido nas florestas das terras baixas da Bolívia, estes resultados podem ser correlacionados ao modelo de previsão geotecnológico utilizado por Tejada et al. (2015), possibilitando assim, estimar a quantidade de carbono emitido, para o ano 2050, nestes locais em função da mudança do tipo de cobertura da terra.

Com o objetivo de avaliar os serviços ambientais, Onaindia et al. (2013) utilizaram da técnica de SIG, por meio do *software* ArcGIS 9.3, para realizar o mapeamento do tipo de cobertura do solo e, dentre outros serviços, estimar a participação de cada tipo de cobertura no estoque de carbono. Neste estudo, não foram apresentados os valores absolutos da quantidade de carbono estocado por tipologia de cobertura do solo. Mas em termos relativos, as áreas de proteção integral representaram a maior quantidade do estoque de carbono.

A contribuição desse estudo, no que tange a geotecnologias aplicadas para estimar biomassa e carbono, vem com a utilização do SIG para delimitar o tamanho das áreas ocupadas por cada tipologia de cobertura do solo, que com a calibração feita por meio da determinação de carbono e estimativas de volumes, permitem a extrapolação da estimativa de carbono para extensas áreas.

No estudo realizado por Fearnside et al. (2009) fica claro o grande potencial das ferramentas geotecnológicas em contribuir nas estimativas de biomassa e estoque de carbono em grandes extensões de terras, como é o caso do “arco do desmatamento” na Amazônia brasileira (estados de Mato Grosso e Rondônia). A ferramenta utilizada nesse estudo foi o uso de mapas de classificação da vegetação da Amazônia na escala 1:250.000, com classificação temporal, obtidos por imagens de radar disponibilizadas pelo projeto RADAMBRASIL.

Os resultados obtidos nesse estudo apontaram que durante o período de 2006-2007 (um ano) 204 x 10^3 ha de floresta e 30 x 10^3 ha de cerrado foram derrubados em Mato Grosso, o que representa uma perda bruta de carbono da biomassa (acima + abaixo do solo) de 66,0 MgC e 1,8 x 10^6 MgC, respectivamente. No mesmo período, em Rondônia, 130 x 10^3 ha de floresta foram derrubados, representando uma perda bruta de 40,4 x 10^6 MgC. Uma análise crítica sobre este artigo permite inferir que quanto maior a extensão de área da cena da imagem geotecnológica, mais eficientes devem ser os sensores e as plataformas de embarque destes para possibilitar que toda a área seja visualizada.

A tecnologia do sistema QGIS 2.2 foi utilizada por Häyhä et al. (2015) para mapear áreas de florestas em região montanhosa no norte da Itália a fim de valorar os serviços ambientais prestados por elas. Um desses serviços foi a taxa de sequestro de carbono que apresentou valores variando entre 1,4 e 12,0 tC ha^{-1} ano^{-1}, sendo um dos motivos dessa

variação os diferentes tempos de vida (idade) dos fragmentos.

Por outro lado, ao utilizar o *software* GIS, Ward et al. (2014) realizaram um estudo para estimar o estoque global de carbono em pastagens de altitude e em áreas cobertas com vegetação arbustiva em todo o planeta. Os resultados deste trabalho apontaram para uma área de 9,38 milhões de km^2 de área de terras cobertas destes dois tipos de vegetação, correspondendo a um estoque estimado de carbono entre 60,5 e 82,8 Pg C (1 Pg equivale a 1 bilhão de toneladas de carbono).

4 I CONCLUSÃO

A técnica de sensoriamento remoto constitui-se numa ferramenta eficiente na estimativa da biomassa e do estoque de carbono nas florestas. Permite a obtenção de informações sobre uma ampla área geográfica e com menor custo e maior viabilidade, quando comparada à determinação feita diretamente em campo.

Para pequenas áreas (abaixo de 100 ha), a estimativa da biomassa e estoque de carbono pelo sensoriamento remoto pode apresentar menor precisão do que a determinação feita pelo método direto.

Pode-se observar nos trabalhos científicos que essa técnica tem sido utilizada para mapeamento e classificação das tipologias e dos estágios da floresta. A partir desses dados, é estimado o volume de madeira ou a quantidade de biomassa na área. Na sequência, o estoque de carbono tem sido estimado, na maioria dos casos, como sendo equivalente a 50 % da biomassa total.

REFERÊNCIAS

BLACK, K. et al. Improving forest soil carbon models using spatial data and geostatistical approaches. **Geoderma**, v. 232-234, p. 487-499, 2014.

DA COSTA, M. B. T. et al. Beyond trees: Mapping total aboveground biomass density in the Brazilian savanna using high-density UAV-lidar data. **Forest Ecology and Management**, v. 491, 119155, 2021.

FEARNSIDE, P. M. et al. Biomass and greenhouse-gas emissions from land-use change in Brazil's Amazonian "arc of deforestation": The states of Mato Grosso and Rondônia. **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 9, p. 1968-1978, 2009.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 160 p.

GOMEZ-ZAVAGLIA, A.; MEJUTO, J. C.; SIMAL-GANDARA, J. Mitigation of emerging implications of climate change on food production systems. **Food Research International**, v. 134, 109256, 2020.

HÄYHÄ, T. et al. Assessing, valuing, and mapping ecosystem services in Alpine forests. **Ecosystem Services**, v. 14, p. 12-23, 2015.

MACEDO, M.; BOTELHO, L. DE L. R.; DUARTE, M. A. T. Revisão bibliométrica sobre a produção científica em aprendizagem gerencial. **Revista Gestão e Sociedade**, v. 4, n. 8, p. 21, 2010.

OLIVEIRA, I. M. S. et al. Potential wood stock in brazilian savanna using geotechnologies. **Ciência Florestal**, v. 31, n. 2, p. 766-785, 2021.

ONAINDIA, M. et al. Co-benefits and trade-offs between biodiversity, carbon storage and water flow regulation. **Forest Ecology and Management**, v. 289, p. 1-9, 2013.

RAJÃO, R. et al. The rotten apples of Brazil's agribusiness. **Science**, v. 369, n. 6501, p. 246-248, 2020.

SANQUETTA, C. R. et al. Estimativa de carbono individual para *Araucaria angustifolia*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 1, p. 1-8, 2014.

TEJADA, G. et al. Deforestation scenarios for the Bolivian lowlands. **Environmental Research**, v. 144, p. 49-63, 2015.

VOLKOVA, L. et al. Empirical estimates of aboveground carbon in open eucalyptus forests of south-eastern Australia and its potential implication for national carbon accounting. **Forests**, v. 6, n. 1, p. 3395-3411, 2015.

WARD, A. et al. A global estimate of carbon stored in the world's mountain grasslands and shrublands, and the implications for climate policy. **Global Environmental Change**, v. 28, p. 14-24, 2014.

ZAHAWI, R. A. et al. Using lightweight unmanned aerial vehicles to monitor tropical forest recovery. **Biological Conservation**, v. 186, p. 287-295, 2015.

CAPÍTULO 3

PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO EM POVOAMENTO DE *Schizolobium parahyba* VAR. *amazonicum* EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS

Data de aceite: 01/08/2022

Data de submissão: 10/06/2022

Francielle Santana de Oliveira
Universidade Federal do Espírito Santo
Jerônimo Monteiro – ES
https://orcid.org/ 0000-0002-8872-7655

Marcos Vinicius Winckler Caldeira
Universidade Federal do Espírito Santo
Jerônimo Monteiro – ES
http://orcid.org/0000-0003-4691-9891

Paulo André Trazzi
Universidade Federal do Acre
Rio Branco, AC
https://orcid.org/0000-0003-4255-3466

Robert Gomes
Universidade Federal do Espírito Santo
Jerônimo Monteiro – ES
https://orcid.org/0000-0003-3004-0049

Matheus Lopes Souza
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
Aracajú – CE
https://orcid.org/0000-0002-9044-1883

Gabriel Soares Lopes Gomes
Universidade Federal do Espírito Santo
Jerônimo Monteiro – ES
https://orcid.org/0000-0002-3211-3929

Cássia dos Santos Azevedo
Universidade Federal do Espírito Santo
Jerônimo Monteiro – ES
https://orcid.org/0000-0001-5835-319X

Hivo Reblin Eufrasio
Universidade Federal do Espírito Santo
Jerônimo Monteiro – ES
https://orcid.org/0000-0002-5707-6693

Marcello Zatta Péres
Universidade Federal do Espírito Santo
Jerônimo Monteiro – ES
https://orcid.org/0000-0001-8030-8619

RESUMO: O reflorestamento desempenha favoráveis serviços ecossistêmicos por meio da restauração de áreas antropizadas, apresentando capacidade produtiva e benefícios a fertilidade do solo. O objetivo do presente estudo foi caracterizar os efeitos do uso do solo em diferentes espaçamentos de plantio em relação as propriedades químicas do solo. A pesquisa foi conduzida na área experimental do Ifes, Campus de Alegre, no distrito de Rive, Alegre, ES, um experimento com *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* aos 8,2 anos de idade, cultivado em três espaçamentos de plantio, sendo: 3 m x 3 m, 4 m x 4 m e 5 m x 5 m, implantado em área anteriormente estabelecida com pastagem e predomínio de Urochloa sp. Foram realizadas coletas de solo nas profundidades 0-20; 20-40; 40-60; 60-80 e 80-100 cm, onde foi avaliado as propriedades químicas do solo. As análises dos dados foram realizadas por meio de estatísticas descritivas. Os resultados obtidos mostraram que a maioria dos atributos químicos avaliados obteve valores de coeficiente de variação (CV) classificados como médio, evidenciando heterogeneidade dos

dados. As maiores variabilidades foram obtidas para potássio, cálcio, magnésio e alumínio, e a menor variabilidade foi visualizada nos valores de pH e soma de bases. O valor máximo de CTC (t) foi registrado para o espaçamento mais adensado, sendo 1,9 e 2,3 vezes maior do que o espaçamento intermediário e o menos adensado. Observou-se similaridade entre os valores médios de fósforo, magnésio, acidez potencial e pH na camada de 0-20 cm, indicando que a resposta da densidade quanto a esses atributos químicos atuou de forma semelhante na primeira camada avaliada. Os resultados destacam a importância da análise exploratória como ponto inicial para avaliar impactos nos atributos químicos do solo, demonstrando potencial para o povoamento de S. parahyba na recuperação da fertilidade do solo.
PALAVRAS-CHAVE: Reflorestamento; Paricá; Mudança no uso do solo; Povoamentos florestais; Fertilidade do solo.

SOIL CHEMICAL PROPERTIES FROM *Schizolobium parahyba* VAR. *amazonicum* STANDS IN DIFFERENT SPACINGS

ABSTRACT: Reforestation performs favorable ecosystem services through the restoration of anthropized areas, presenting productive capacity and benefits to soil fertility. The objective of this study was to characterize the effects of land use at different planting spacing in relation to the chemical properties of the soil. The research was conducted in the experimental area of Ifes, Campus de Alegre, in the district of Rive, Alegre, ES, in an *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* stand at 8.2 years of age, cultivated at three planting spacings: 3 m x 3 m, 4 m x 4 m and 5 m x 5 m. The stands were established in an area previously used as pasture and predominantly occurring *Urochloa* sp grasses. Soil samples were collected at depths of 0-20; 20-40; 40-60; 60-80 and 80-100 cm, where the chemical properties of the soil were evaluated. Data analysis was performed using descriptive statistics. The results obtained showed that most of the chemical attributes evaluated obtained coefficient of variation values classified as medium, showing data heterogeneity. The greatest variability was obtained for K, Ca, Mg and Al, and the lighter variability was seen for pH and sum of bases values. The maximum value of CEC was recorded for the densest spacing, being 1.9 and 2.3 times higher than the intermediate and least dense spacing. Similarity was observed between the average values of P, Mg, potential acidity and pH in the 0-20 cm layer, indicating that the response of density as to these chemical attributes acted similarly in the first layer evaluated. The results highlight the importance of exploratory analysis as a starting point for assessing impacts on soil chemical attributes, demonstrating potential for *S. parahyba* stands in the recovery of soil fertility.
KEYWORDS: Reforestation; Paricá; Land use change; Forest stands; Soil fertility.

1 | INTRODUÇÃO

Os principais fatores responsáveis pela degradação das áreas cultivadas estão relacionados a mudança no uso da terra e as alterações decorrente da ação antrópica, que modificam a matéria orgânica do solo, influenciando nas propriedades químicas e físicas, bem como nos processos de ciclagem de nutrientes (ZAGO et al., 2018). O solo é tido como o principal componente do ecossistema terrestre e o maior reservatório de carbono orgânico, sendo vulnerável as mudanças dos padrões de uso do solo e clima (NATH et

al., 2018), implicando diretamente na atuação de outros atributos, como o pH, nitrogênio, fósforo e cátions trocáveis (THOMAZ et al., 2020).

Extensas áreas de terras que passam por processos erosivos e de degradação são apresentadas como uma viável alternativa ao reflorestamento (MARTINS et al., 2020), além de representar um meio eficaz para aumentar o beneficiamento dos serviços ecossistêmicos (SHIMAMOTO et al., 2018), os quais destacam a proteção e manutenção dos recursos hídricos como também a preservação da biodiversidade (NUNES et al., 2020). Além desses fatores mencionados, o reflorestamento promove a estabilização do solo sobre os processos erosivos (SCARCIGLIA et al., 2020).

O Brasil possui vasta diversidade de espécies voltadas para fins de reflorestamento e uso comercial (ROLIM et al., 2019). Dentre elas, encontra-se a *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*, conhecido popularmente como paricá, sendo caraterizado por seu interesse econômico e ecológico, rápido crescimento e facilidade em se adaptar a diferentes condições edafoclimáticas (SCHWARTZ et al., 2017; DE OLIVEIRA et al., 2019).

Além de ser empregada com finalidade de produção e proteção ambiental, o paricá pode atuar no fornecimento de serviços ecossistêmicos. Estima-se que a área plantada da espécie no Brasil seja de 90.000 ha (MASCARENHAS et al., 2021), destinando-se em sua grande maioria à produção de laminados (BALDONI, et al., 2020). Entretanto, até o presente estudo, não existem informações na literatura sobre a espécie relacionado a influência de diferentes espaçamentos nos atributos químicos do solo.

A seleção de espécies arbóreas que apresentam adaptabilidade a variadas condições edafoclimáticas, requer conhecimento acerca do comportamento silvicultural. Esse conhecimento permite diminuir perdas e viabilizar a produtividade do cultivo (INAGAKI; TANGE, 2014), sendo necessário adoção de métodos culturais que permitam maiores contribuições a respeito da qualidade do solo (SANZ et al., 2017). Além disso, as espécies nativas são menos estudadas em comparação as espécies exóticas amplamente difundidas no mercado, como o *Eucalyptus* e *Pinu*s (GAMA-RODRIGUES et al., 2020).

A escolha do espaçamento de plantio, por exemplo, é considerada questão primordial na produção de biomassa e estoque de carbono. Segundo Pretzsch e Biber (2016), a densidade máxima do povoamento entrega informações que permitem analisar a produtividade e dinâmica das diferentes práticas silviculturais que possam ser empregadas, resultando em melhorias na qualidade da madeira, diâmetro e crescimento (RONDON, 2002). Ademais, tem-se reconhecido que os espaçamentos mais adensados podem favorecer de forma mais intensa os atributos químicos do solo quando comparados a espaçamentos amplos, devido a maior queda de serapilheira e acúmulo de raízes nessas áreas, o que permite intensa ciclagem de nutrientes (ROSA et al., 2018).

Considerando o enfoque que o reflorestamento com árvores nativas tem recebido nos últimos anos e dada a importância ecológica e econômica de *S. parahyba*, o desenvolvimento de estudos relacionado a influência da espécie sobre a fertilidade dos

solos é um fator importante para a seleção de técnicas de manejos que propiciem aumento da eficiência do plantio. Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo quantificar e caracterizar a fertilidade do solo estabelecido em diferentes espaçamentos de plantio.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado no município de Alegre, ES (distrito de Rive), a área foi concedida pelo Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Campus de Alegre, ES (Ifes), estando está inserida na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim (GASPARINI, 2014)e tendo como coordenadas geográficas 20°46’26.09”S e 41°27’26.21”O.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw, com estações chuvosas no verão e seca no inverno, sendo a temperatura média anual de 23,9 ºC (chuvas concentradas na estação chuvosa no período de novembro a março) e precipitação anual próximo a 1.200 mm (ALVARES et al., 2013).

O tipo de solo predominante na área experimental é o Latossolo Vermelho Amarelo (Santos et al., 2018). A formação florestal original da área de estudo é classificada como Floresta Estacional Semidecidual (IBGE, 2012). O relevo é considerado montanhoso, ocorrendo pontos com declividades acentuadas e altitude variando entre 130 m nos pontos baixos e 180 m nos pontos de maior elevação.

2.2 Implantação do povoamento

A implantação do experimento com *Schizolobium parahyba* var*. amazonicum* foi realizada em junho de 2011, sobre uma área ocupada anteriormente com pastagem (*Urochloa* sp.*)*, sem histórico de aplicações de fertilizantes, ao menos nos últimos 40 anos. As mudas foram produzidas e doadas pela Reserva Natural Vale, Linhares, ES com sementes provenientes de árvores matrizes localizadas em Dom Elizeu, Pará.

Na implantação do projeto, o gado foi retirado e realizou-se o controle da *Urochloa* sp*.,* com a aplicação de herbicida glifosato®. No preparo do terreno realizou-se as marcações das faixas e abertura das covas de plantio com dimensões de 30 cm x 30 cm x 30 cm. Os tratamentos receberam adubação de base com 220 g por cova de NPK na formulação 06-30-06 e micronutrientes (0,2 % B; 0,2 % Cu; e 0,2 % Zn), sendo realizada manutenção do plantio durante o primeiro ano de estabelecimento da cultura, com replantio, coroamento e controle de formigas.

Utilizou-se três tratamentos, constituídos pelos espaçamentos de plantio 3 m x 3 m, 4 m x 4 m e 5 m x 5 m. Cada tratamento possuía três repetições, composto por parcelas de 30 m por 50 m (área de 1.500 m²), lançadas aleatoriamente, totalizando 9 unidades amostrais.

2.3 Coleta e análises das amostras de solo

A amostragem de solo foi realizada em agosto de 2019, ou seja, 8,2 anos após a implantação do paricá. Foram realizadas coletas das amostras de solo nas profundidades: 0-20 cm; 20-40 cm; 40-60 cm; 60-80 cm e 80-100 cm para determinar os atributos químicos e densidade do solo (Ds). Para tanto, foram abertas três trincheiras em cada espaçamento, de 1,5 m de comprimento e largura, em 1 metro de profundidade, evitando-se as bordas das parcelas. O local para abertura das trincheiras foi selecionado ao acaso, evitando, no entanto, locais com presença de fezes de gado bovino e formigueiros, procedimento que permite melhor representação da área e evita viés nas estimativas. Foram retiradas seis amostras simples em cada profundidade dentro das trincheiras, as quais foram misturadas para formar uma amostra composta para análises químicas.

As amostras deformadas foram extraídas com o auxílio do enxadão para retirada da amostra de solo. Posteriormente, as amostras foram acondicionadas em recipientes plásticos, e em seguida, enviadas ao Laboratório de Análise Agronômica, Ambiental e Preparo de Soluções Químicas (Fullin), em Linhares, ES, para realizar as análises físicas e químicas do solo seguindo a metodologia descrita por Teixeira et al. (2017).

O pH em água foi determinado na relação solo de 1:2,5; o sódio e o potássio foram extraídos com Mehlich¹ (HCl 0,05 mol L^{-1}; H_2SO_4 0,0125 mol L^{-1}) e quantificados por fotometria de emissão chama. O fósforo disponível foi extraído com Mehlich¹ e quantificado por fotocolorímetro. Os teores de cálcio, magnésio e alumínio trocáveis foram extraídos com solução KCl 1 mol L^{-1}. A acidez potencial (H+Al) determinada com solução pH SMP. O fósforo remanescente foi determinado na solução de equilíbrio, obtido com $CaCl_2$ 10 mmol L^{-1}. A partir dos resultados obtidos, foram calculados a soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva (t), capacidade de troca de cátions potencial (T), saturação por bases (V) e em alumínio (m). Para a determinação do teor de carbono orgânico, utilizou-se o método de oxidação química por via úmida com bicromato de potássio (Walkley-Black) e o teor de nitrogênio total pelo método de Kjeldahl.

2.4 Análise dos dados

Os dados foram analisados através de estatística descritiva, em que para cada propriedade do solo foram utilizados a média aritmética e medidas de dispersão (desvio-padrão e coeficiente de variação), a fim de se ter uma visão geral de como se comportavam os dados.

Com relação ao coeficiente de variação (CV) dos valores, foram interpretados de acordo com a classificação proposta por Warrick & Nielsen (1980), no qual os valores de CV são considerados: baixa ($CV < 12$ %), média ($12 \% < CV < 60 \%$) e alta para valores > 60 %.

A análise descritiva dos dados foi realizada com os softwares Microsoft Excel®

versão 2013.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para caracterização dos atributos químicos do solo da área de estudo (Tabela 1), as médias obtidas foram comparadas a interpretação de solos propostas por Sobral et al. (2015). Para o pH, os valores máximos e mínimos encontrados foram, 5,90 a 6,40, respectivamente, sendo classificado como acidez média a fraca. Para a primeira camada de solo avaliada, o valor mínimo encontrado para o pH foi 5,50, evidenciado no espaçamento mais adensado, que também foi responsável pelo valor máximo de 6,10. O solo do local, que é classificado como Latossolo vermelho amarelo, apresenta pH adequado para povoamentos de *S. parahyba* var. *amazonicum*, já que a espécie apresenta bom desenvolvimento em solos com pH a partir de 4,5 a 5,0 (SOUZA, 2003). Como os valores do pH atuam em diversos processos químicos que ocorrem no solo, como a solubilidade dos nutrientes, é importante manter os níveis adequados para melhor desenvolvimento da cultura.

Os teores de fósforo disponível apresentaram-se baixos em todos os espaçamentos nas diferentes camadas do solo, variando de 1,33 a 3,33 mg dm^{-3}. A disponibilidade de P é amplamente conhecida como limitante na produtividade florestal, principalmente em solos de regiões tropicais (BRENNER et al., 2018). O paricá, no estado do Mato grosso, é implantado em solos com baixa fertilidade, com pH (H_2O) de 4,5 e baixos teores de K e P (CARVALHO, 2007). Isso justifica a adaptação da espécie e seu potencial de uso para recuperação de áreas. Fato também observado por Schwartz et al. (2017), trabalhando com paricá em áreas degradadas no Pará.

Os teores de potássio disponível para todos os espaçamentos foram classificados como baixo a médio. O potássio, em particular, é dependente dos minerais primários, secundários e da decomposição da MOS, não sendo um constituinte de biomoléculas. Logo, sua forma disponível às plantas pode ser rapidamente lixiviada da MOS devido à sua alta solubilidade (SARDANS; PEÑUELAS, 2015). Além do mais, o paricá possui elevada capacidade de absorção desse elemento, apresentando baixo teor de K nas folhas mais velhas, visto sua mobilidade. Como consequência, esse elemento é redistribuído para folíolos mais jovens, o que acarreta em baixo retorno deste nutriente ao solo (CARVALHO et al., 2013).

Os teores de cálcio e magnésio do presente estudo variaram de baixo a médio, conforme classificação de Sobral et al. (2015). Os valores médios para Ca, variaram de 1,76 a 2,67 $cmol_c$ dm^{-3}, ao passo que Mg apresentou valores entre 0,30 e 0,90 $cmol_c$ dm^{-3} na primeira camada de solo avaliada. Alguns autores apontam que os maiores teores de Ca no paricá se encontram nas folhas (CARVALHO et al., 2013; BIGHI, 2021).

O Ca por ser um elemento imóvel no sistema vascular vegetal não realiza a redistribuição desse nutriente para tecidos mais jovens da planta (NGAIW et al., 2018).

Devido a este fator, quando ocorre a *abscisão foliar, o Ca tende a acumular-se na serapilheira* (CALDEIRA et al., 2019), retornando ao solo por meio da ciclagem de nutrientes. Outros elementos, como o Mg, por serem móveis no tecido vegetal, apresentam diminuição nos seus teores devido a capacidade de ser redistribuído no interior da planta (YAN; HOU, 2018). Os teores de Mg, podem também evidenciar diminuição mediante a competição com outros cátions, fenômeno frequentemente observado nos solos (FARHAT et al., 2016).

Os níveis de acidez trocável (Al^{3+}) se apresentaram muito baixos, nos diferentes espaçamentos e camadas do solo, o que pode ser explicado devido aos valores de pH mais elevados, indicando que nesta área o solo não é considerado ácido e não apresenta toxidez por alumínio. Esse fator pode ser confirmado ao avaliar os valores médios de soma de bases, que variam de 2,17 a 3,49 $cmol_c\ dm^{-3}$ e os baixos valores da acidez potencial (H+Al), entre 1,57 a 2,57 $cmol_c\ dm^{-3}$, sendo formada de forma predominante pelos íons H^+, já que os teores de Al^{3+} não foram expressivos para todas as camadas do solo avaliadas no presente estudo.

Em relação a CTC efetiva, os valores variaram entre 3,49 a 2,33 $cmol_c\ dm^{-3}$. No geral, em todos os espaçamentos e camadas analisadas, a CTC efetiva ficou abaixo de 4,0 $cmol_c\ dm^{-3}$, o que a classificada como média. Isso está relacionado aos valores dos cátions K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} e Al^{3+}, sendo necessário incremento de cargas negativas no solo pela ação da matéria orgânica do solo (MOS). Os valores máximos de CTC (t) para os três espaçamentos avaliados foi de 5,97; 3,13 e 2,51 para 3 m x 3 m, 4 m x 4 m e 5 m x 5 m, respectivamente. O valor máximo para o espaçamento mais adensado foi 1,9 e 2,3 vezes maior do que o espaçamento intermediário e o menos adensado.

		P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	pH
		- - - - ($mg\ dm^{-3}$) - - - -		- - - - - - - - - - - ($cmol_c\ dm^{-3}$) - - - - - - - - - -						(H_2O)
		0-20 cm								
3 m x 3 m	Média	1,33	54,33	2,67	0,60	0,07	2,57	3,42	3,49	5,90
	Máximo	2,00	76,00	4,90	0,90	0,20	3,10	5,97	5,97	6,10
	Mínimo	1,00	27,00	1,00	0,30	0,00	2,20	1,39	1,59	5,50
	DP	0,58	24,99	2,01	0,30	0,12	0,47	2,34	2,25	0,35
	CV (%)	43,61	45,99	75,41	50,00	173,21	18,41	68,24	64,47	5,87
4 m x 4 m	Média	1,33	74,66	1,76	0,60	0,00	2,53	2,58	2,58	5,90
	Máximo	2,00	80,00	2,20	0,70	0,00	2,60	3,13	3,13	6,00
	Mínimo	1,00	71,00	1,40	0,50	0,00	2,40	2,11	2,11	5,90
	DP	0,58	4,73	0,40	0,10	0,00	0,12	0,51	0,51	0,06
	CV (%)	43,30	6,33	22,88	16,67	-	4,56	19,80	19,80	0,97
	Média	1,67	48,67	1,53	0,50	0,00	2,57	2,17	2,17	5,87

	Máximo	3,00	86,00	1,80	0,60	0,00	2,80	2,51	2,51	5,90
5 m x 5 m	Mínimo	1,00	24,00	1,30	0,30	0,00	2,10	1,68	1,68	5,80
	DP	1,15	32,88	0,25	0,17	0,00	0,40	0,44	0,44	0,06
	CV (%)	69,28	67,57	16,41	34,64	-	15,75	20,14	20,14	0,98
20-40 cm										
	Média	1,67	26,67	2,07	0,47	0,00	2,00	2,62	2,62	6,00
	Máximo	2,00	38,00	2,30	0,70	0,00	2,20	3,12	3,12	6,20
3 m x 3 m	Mínimo	1,00	18,00	1,60	0,30	0,00	1,80	2,07	2,07	5,90
	DP	0,58	10,26	0,40	0,21	0,00	0,20	0,53	0,53	0,17
	CV (%)	34,64	38,49	19,56	44,61		10,00	20,14	20,14	2,89
	Média	1,67	51,33	2,20	0,63	0,00	2,03	2,99	2,99	6,03
	Máximo	2,00	77,00	2,50	1,00	0,00	2,10	3,45	3,45	6,10
4 m x 4 m	Mínimo	1,00	26,00	1,80	0,40	0,00	2,00	2,42	2,42	6,00
	DP	0,58	25,50	0,36	0,32	0,00	0,06	0,52	0,52	0,06
	CV (%)	34,64	49,68	16,39	50,76	-	2,84	17,50	17,50	0,96
	Média	1,67	23,67	2,13	0,37	0,00	2,13	2,58	2,58	6,00
	Máximo	2,00	26,00	2,60	0,50	0,00	2,40	3,08	3,08	6,00
5m x 5m	Mínimo	1,00	22,00	1,80	0,20	0,00	2,00	2,28	2,28	6,00
	DP	0,58	2,08	0,42	0,15	0,00	0,23	0,44	0,44	0,00
	CV (%)	34,64	8,80	19,52	41,66	-	10,83	17,09	17,09	0,00
40-60 cm										
	Média	2,67	29,00	2,13	0,47	0,00	1,73	2,69	2,69	6,20
	Máximo	3,00	51,00	2,30	0,60	0,00	1,80	3,05	3,05	6,40
3 m x 3 m	Mínimo	2,00	18,00	1,80	0,30	0,00	1,60	2,36	2,36	6,00
	DP	0,58	19,05	0,29	0,15	0,00	0,12	0,35	0,35	0,20
	CV (%)	21,65	65,70	13,53	32,73	-	6,66	12,84	12,84	3,23
	Média	2,33	45,33	2,23	0,63	0,00	1,73	3,00	3,00	6,13
	Máximo	4,00	57,00	2,60	1,00	0,00	1,90	3,45	3,45	6,20
4m x 4m	Mínimo	1,00	30,00	1,80	0,40	0,00	1,60	2,36	2,36	6,10
	DP	1,53	13,87	0,40	0,32	0,00	0,15	0,57	0,57	0,06
	CV (%)	65,47	30,59	18,10	50,76	-	8,81	18,89	18,89	0,94
	Média	1,67	23,33	2,03	0,40	0,00	1,77	2,51	2,51	6,07
	Máximo	2,00	24,00	2,70	0,50	0,00	1,80	3,19	3,19	6,20
5 m x 5 m	Mínimo	1,00	23,00	1,60	0,30	0,00	1,70	2,17	2,17	6,00
	DP	0,58	0,58	0,59	0,10	0,00	0,06	0,58	0,58	0,12
	CV (%)	34,64	2,47	28,82	25,00	-	3,27	23,20	23,20	1,90
60-80 cm										

3m x 3m	Média	3,00	33,00	1,90	0,50	0,00	1,63	2,50	2,50	6,33
	Máximo	4,00	65,00	2,00	0,60	0,00	1,90	2,68	2,68	6,40
	Mínimo	2,00	17,00	1,80	0,30	0,00	1,40	2,36	2,36	6,30
	DP	1,00	27,71	0,10	0,17	0,00	0,25	0,17	0,17	0,06
	CV (%)	33,33	83,98	5,26	34,64	-	15,41	6,71	6,71	0,91
4 m x 4 m	Média	2,67	34,67	2,10	0,57	0,00	1,63	2,77	2,77	6,30
	Máximo	4,00	56,00	2,50	0,90	0,00	1,70	2,97	2,97	6,40
	Mínimo	1,00	24,00	1,90	0,40	0,00	1,60	2,47	2,47	6,20
	DP	1,53	18,48	0,35	0,29	0,00	0,06	0,27	0,27	0,10
	CV (%)	57,28	53,29	16,50	50,94	-	3,53	9,76	9,76	1,59
5 m x 5 m	Média	2,00	25,67	2,20	0,53	0,00	1,67	2,82	2,82	6,23
	Máximo	3,00	28,00	3,00	0,70	0,00	1,80	3,59	3,59	6,40
	Mínimo	1,00	22,00	1,80	0,40	0,00	1,60	2,29	2,29	6,10
	DP	1,00	3,21	0,69	0,15	0,00	0,12	0,68	0,68	0,15
	CV (%)	50,00	12,52	31,49	28,64	-	6,93	24,25	24,25	2,45
						80-100 cm				
3 m x 3 m	Média	3,33	32,00	1,93	0,57	0,00	1,57	2,60	2,60	6,37
	Máximo	5,00	55,00	2,20	0,70	0,00	1,60	2,69	2,69	6,40
	Mínimo	2,00	18,00	1,80	0,40	0,00	1,50	2,56	2,56	6,30
	DP	1,53	20,07	0,23	0,15	0,00	0,06	0,07	0,07	0,06
	CV (%)	45,83	62,73	11,95	26,96	-	3,69	2,70	2,70	0,91
4 m x 4 m	Média	3,00	38,00	2,03	0,60	0,00	1,63	2,75	2,75	6,40
	Máximo	5,00	64,00	2,40	1,10	0,00	1,70	2,98	2,98	6,50
	Mínimo	1,00	22,00	1,80	0,30	0,00	1,60	2,38	2,38	6,20
	DP	2,00	22,72	0,32	0,44	0,00	0,06	0,32	0,32	0,17
	CV (%)	66,67	59,78	15,81	72,65	-	3,53	11,71	11,71	2,71
5 m x 5 m	Média	2,00	25,33	2,03	0,50	0,00	1,60	2,62	2,62	6,30
	Máximo	3,00	29,00	2,50	0,60	0,00	1,60	3,10	3,10	6,50
	Mínimo	1,00	18,00	1,70	0,40	0,00	1,60	2,20	2,20	6,10
	DP	1,00	6,35	0,42	0,10	0,00	0,00	0,45	0,45	0,20
	CV (%)	50	25,07	20,48	20,00	-	0,00	17,29	17,29	3,17

Abreviações: DP=Desvio padrão; CV= coeficiente de variação; H+Al= acidez potencial; SB: soma de bases trocáveis; t = capacidade de troca catiônica efetiva; pH = potencial hidrogeniônico.

Tabela 1. Estatística descritiva para as variáveis de caracterização dos atributos químicos do solo em diferentes espaçamentos de plantio no povoamento de *S. parahyba* var. *amazonicum*, aos 8,2 anos de idade, em Rive, Alegre, ES.

A variabilidade dos dados pode ser refletida de acordo com os valores do coeficiente de correlação (CV). Na maioria dos atributos químicos avaliados, obteve-se valores de CV

classificados como média variação (12 % - 60 %), de acordo com a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), o que pode caracterizar uma dispersão do conjunto de dados, sendo também evidenciado pelos valores acentuados de desvio padrão.

Valores considerados altos de CV foram observados na primeira camada do solo para o espaçamento mais adensado, onde o valor do alumínio apresentou CV superior a 100 %, Ca maior que 70 %, e SB e CTC (t) maiores que 60 %. Por outro lado, o espaçamento menos adensado, evidenciou valores com CV altos para P e K na camada de 0-20 cm. Dentre os atributos, apenas o pH do solo obteve CV abaixo de 6 %, observado para todos os espaçamentos e profundidades avaliadas.

Valores altos de CV indicam a heterogeneidade dos dados em torno da média. Em relação aos atributos do solo, essa característica pode ser atribuída ao processo de transformação do solo e características edáficas, que podem interferir na distribuição das partículas do solo e no escoamento da água (ARTUR et al., 2014).

4 I CONCLUSÃO

O solo do povoamento apresenta pH e bases disponíveis (K^{+}, Ca^{2+}, Mg^{2+}) classificados como médio e com baixo teor de alumínio, favorecendo o desenvolvimento de plantas.

Na análise descritiva dos dados, os valores de atributos apresentaram coeficiente de variação médio, e consequentemente heterogeneidade dos dados, com maiores variabilidade na primeira camada do solo no espaçamento mais adensado.

A camada superficial (0-20 cm) apresentou melhores padrões de fertilidade, devido a constante deposição dos resíduos vegetais aportados.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – Ifes - Campus de Alegre, pela concessão da área de estudo.

A Fundação de Amparo à pesquisa e Inovação do Espírito Santo (Fapes) por meio do Edital Fapes N° 19/2018- Taxa de Pesquisa (Termo de Outorga: 216/2019) e Edital Fapes/Capes N° 10/2018 (Processo N° 83508490);

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (Processo N° 150073/2018-6) e Chamada CNPq N° 09/2018- Bolsas de Produtividade em Pesquisa (Processo N° 305090/2018-6).

REFERÊNCIAS

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES J.L.M.; SPAROVEK. G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ARTUR, A.G.; OLIVEIRA, D.P.; COSTA, M.C.; ROMERO, R.E.; SILVA, M.V.; FERREIRA, T.O. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 141-149, 2014.

BALDONI, A.B.; BOTIN A.A.; TARDIN, F. D.; DE BARROS MARQUES, J.A.; DE OLIVEIRA, F.L.; SILVA, A.J.R.; TEODORO, P.E. Early selection strategies in *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby. **Industrial Crops and Products**, v. 152, p. 112538, 2020.

BIGHI, K.N. **Fixação biológica de nitrogênio e aspectos nutricionais em povoamentos de *Anadenanthera peregrina* var. *peregri*na e *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* em função da densidade de plantio e condições ambientais**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, p.116, 2021.

BRENNER, J.; PORTER, W.; PHILLIPS, J. R.; CHILDS, J.; YANG, X.; MAYES, M. A. Phosphorus sorption on tropical soils with relevance to Earth system model needs. **Soil Research**, v. 57, n. 1, p. 17-27, 2018.

CALDEIRA, M.V.W.; GODINHO, T.D.O.; MOREIRA, F.L.; CAMPANHARO, Í. F.; CASTRO, K.C. MENDONÇA, A.R.D.; TRAZZI, P.A. Litter as an ecological indicator of forest restoration processes in a dense ombrophylous lowland forest. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. SPE1, 2019.

CARVALHO, P.E.R. Paricá-*Schizolobium amazonicum*. **Embrapa Florestas-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2007.

CARVALHO, M.; MACHADO, R.C.; AHNERT, D.; SODRÉ, G.A.; SACRAMENTO, C.K. Avaliação da composição e distribuição mineral em componentes foliares de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke). **Agrotropica**, Ilhéus, v.25, n.1, p.53-60, 2013.

GAMA-RODRIGUES, A.C. Multifunctional Mixed-Forest Plantations: The Use of Brazilian Native Leguminous Tree Species for Sustainable Rural Development. In: Elke Jurandy Bran Nogueira Cardoso, José Leonardo de Moraes Gonçalves, Fabiano de Carvalho Balieiro, Avílio Antônio Franco. (Org.). Mixed Plantations of *Eucalyptus* and Leguminous Trees. 1ed: **Springer International Publishing**, p. 241-256, 2020.

GASPARINI, K.A.C. **Regionalização de vazões para a bacia hidrográfica do rio Itapemirim, ES**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)- Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, p. 79, 2014.

GODINHO, T.D.O.; CALDEIRA, M.V.W.; ROCHA, J.H.T.; CALIMAN, J.P.; TRAZZI, P.A. Quantificação de biomassa e nutrientes na serapilheira acumulada em trecho de Floresta Estacional Semidecidual Submontana, ES. **Cerne**, v. 20, n. 1, p. 11- 20, 2014.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA**. Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. p. 271, 2012. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf

INAGAKI, M.; TANGE, T. Nutrient accumulation in aboveground biomass of planted tropical trees: a meta-analysis. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 60, n. 4, p. 598- 608, 2014.

MARTINS, T.G.; REIS, G.G.; REIS, M.G.; TELLES, L.A.; LAGE, M. R.; MENDES, G. G.; GONZÁLES, D. G. Potential planting areas for native tree species in minas gerais state, Brazil, based on environmental variables and wood demand. **Ecological Modelling**, v. 432, 109211, 2020.

NATH, A.J.; BRAHMA, B.; SILESHI, G.W.; DAS, A.K. Impact of land use changes on the storage of soil organic carbon in active and recalcitrant pools in a humid tropical region of India. **Science of the total environment**, v. 624, p. 908-917, 2018.

NUNES, S.; GASTAUER, M.; CAVALCANTE, R. B.; RAMOS, S. J.; CALDEIRA JR, C. F.; SILVA, D.; SIQUEIRA, J. O. Challenges and opportunities for large-scale reforestation in the Eastern Amazon using native species. **Forest Ecology and Management**, v. 466, p. 118120, 2020.

DE OLIVEIRA, S.S.; NASCIMENTO, G.O.; SOUZA, D.P.; NASCIMENTO, L.O.; OLIVEIRA, S.S.; GONÇALVES, J.F.C.; FERREIRA, J.B.; OLIVEIRA, E. Growth of parica seedlings (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) cultivated in different organic substrates. **African Journal of Agricultural Research**, v. 14, n. 6, p. 303–310, 2019.

PRETZSCH, H.; BIBER, P. Tree species mixing can increase maximum stand density. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 08, n. p. 1179–1193, January, 2016.

R Development Core Team (2016) R: A Language and Environment for Statistical Computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, 2016. (http://www.Rproject.org/).

ROLIM, S.G.; PIÑA-RODRIGUES, F.C.; PIOTTO, D.; BATISTA, A.; FREITAS, M.L.M.; JUNIOR, S.B.; CALMON, M. Research Gaps and Priorities in Silviculture of Native Species In Brazil. Working paper. **WRI Brasil**, São Paulo, p. 44, 2019.

ROSA, S.F.D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J.M.; FLEIG, F.D.; RODRIGUES, M.F.; GELAIN, N.S. Propriedades físicas e químicas de um argissolo sob cultivo de *Eucalyptus dunnii* Maiden no pampa gaúcho. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 580-590, 2018.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; DOS ANJOS, L.H.C.; DE OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; CUNHA, T.J.F.; 2018. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANZ, M.J.; DE VENTE, J.; CHOTTE, J.L.; BERNOUX, M.; KUST, G.; RUIZ, I.; ALMAGRO, M.; ALLOZA, J.A.; VALLEJO, R.; CASTILLO, V.; HEBEL, A.; AKHTAR-SCHUSTER, M. Sustainable Land Management contribution to successful land-based climate change adaptation and mitigation. **A Report of the Science-Policy Interface**, 2017.

SARDANS, J.; PEÑUELAS, J. **Global Ecology and Biogeography**, v. 24, n. 3, p. 261-275, 2015.

SOBRAL, L.F.; BARRETO, M.D.V.; DA SILVA, A. J.; DOS ANJOS, J.L. Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos. **Embrapa Tabuleiros Costeiros-Documentos (INFOTECA-E)**, 2015.

SOUZA, C.R.; ROSSI, L.M.B.; DE AZEVEDO, C.P.; VIEIRA, A.H. Paricá: *Schizolobium parahyba* var. *amazonicu*m (Huber x Ducke) Barneby. **Embrapa Amazônia Ocidental-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2003.

SCHWARTZ, G.; PEREIRA, P.C.G.; SIVIERO, M.A.; PEREIRA, J.F.; RUSCHEL, A. R.; YARED, J. A. G. Enrichment planting in logging gaps with *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby: A financially profitable alternative for degraded tropical forests in the Amazon. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 390, n. 2, p. 166-172, 2017.

SHIMAMOTO, C.Y.; PADIAL, A.A.; DA ROSA, C.M.; MARQUES, M.C. Restoration of ecosystem services in tropical forests: a global meta-analysis. **PloS One**, v. 13, n. 12, p. e0208523, 2018.

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de métodos de análise de solo**, 3°ed, Brasília, DF: Embrapa, p, 574, 2017.

THOMAZ, E. L.; NUNES, D. D.; WATANABE, M. Effects of tropical forest conversion on soil and aquatic systems in southwestern Brazilian Amazonia: A synthesis. **Environmental Research**, v. 183, p. 109220, 2020.

WARRICK A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. **Application of soil physics,** p. 319-344, 1980.

YAN, B.O; HOU, Y. Effect of soil magnesium on plants: a review. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. **IOP Publishing**, p. 022168, 2018.

ZHOU, Z.; WANG, C.; JIANG, L.; LUO, Y. Trends in soil microbial communities during secondary succession. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 115, pp. 92-99, 2017.

CAPÍTULO 4

CARACTERIZAÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO EM POVOAMENTOS DE LEGUMINOSA ARBÓREA

Data de aceite: 01/08/2022

Robert Gomes
Universidade Federal do Espírito Santo
Jerônimo Monteiro – ES
https://orcid.org/0000-0003-3004-0049

Marcos Vinicius Winckler Caldeira
Universidade Federal do Espírito Santo
Jerônimo Monteiro – ES
https://orcid.org/0000-0003-4691-9891

Paulo André Trazzi
Universidade Federal do Acre
Rio Branco – AC
https://orcid.org/0000-0003-4255-3466

Francielle Santana de Oliveira
Universidade Federal do Espírito Santo
Jerônimo Monteiro – ES
https://orcid.org/0000-0002-8872-7655

Gabriel Soares Lopes Gomes
Universidade Federal do Espírito Santo
Jerônimo Monteiro – ES
https://orcid.org/0000-0002-3211-3929

Cássia dos Santos Azevedo
Universidade Federal do Espírito Santo
Jeronimo Monteiro – ES
https://orcid.org/0000-0001-5835-319X

Marcello Zatta Péres
Universidade Federal do Espírito Santo
Jerônimo Monteiro – ES
https://orcid.org/0000-0001-8030-8619

Jéssica Tetzner de Oliveira
Universidade Federal do Espírito Santo
Jerônimo Monteiro – ES
https://orcid.org/0000-0002-4750-2185

Victor Braga Rodrigues Duarte
Universidade Federal do Espírito Santo
Jerônimo Monteiro – ES
https://orcid.org/0000-0002-4958-6810

RESUMO: Espécies florestais nativas como *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. var. *peregrina* (angico-vermelho) são promissoras na composição de povoamentos florestais, pois são capazes de conciliar a produção de bens ao provimento de serviços ambientais. Porém, pouco se sabe sobre seus tratos silviculturais e sua influência em solos tropicais. Este capítulo buscou descrever os atributos químicos do solo e avaliar a influência de diferentes espaçamentos de plantio em povoamentos de *A. peregrina* var. *peregrina* 8,2 anos após seu estabelecimento. O estudo foi desenvolvido em área cedida pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (Ifes), Campus de Alegre, ES. O povoamento foi implantado em junho de 2011. Foram alocados três blocos, onde foram avaliados três tratamentos, correspondendo aos espaçamentos de plantio 3 m x 3 m, 4 m x 4 m e 5 m x 5 m. Em cada parcela, o solo foi amostrado por meio de uma trincheira de 1 metro de profundidade. Foram retiradas amostras para análise química em diferentes profundidades. O espaçamento de plantio não influenciou os atributos químicos do solo. De forma geral, a

camada superficial dos solos avaliados possui teores médios de K e Mg, teores baixos de P e Ca, além de acidez média, baixa saturação de bases e CTC (T) média. A composição química do solo estudado evidencia a ausência de tratos silviculturais de manutenção da fertilidade, que a longo prazo podem se tornar fator limitante ao desenvolvimento da cultura.
PALAVRAS-CHAVE: Fertilidade do solo; Carbono florestal; Leguminosa fixadora; Silvicultura tropical.

SOIL FERTILITY CHARACTERIZATION IN LEGUME TREE STANDS

ABSTRACT: Native forest species such as *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. var. *peregrina* (angico-vermelho) are promising in the composition of forest stands, because they are able to reconcile production to the provision of environmental services. However, little is known about their silvicultural management and their influence on tropical soils. This chapter aimed to describe the chemical attributes of the soil and evaluate the influence of different planting spacing in stands of *A. peregrina* var. *peregrina* 8.2 years after its establishment. The study was developed in an area granted by the Federal Institute of Education, Science and Technology of Espírito Santo (Ifes), in Alegre, Espírito Santo, Brazil. The stand was established in June 2011. Three blocks were allocated, where three treatments were evaluated, corresponding to planting spacing 3 m x 3 m, 4 m x 4 m and 5 m x 5 m. In each plot, the soil was sampled by means of a 1-meter deep trench. Samples were taken for chemical analysis at different depths. The planting spacing did not influence the chemical attributes of the soil. In general, the superficial layer of the evaluated soils has medium K and Mg contents, low P and Ca contents, besides medium acidity, low base saturation and medium CEC. The chemical composition of the soil studied shows the absence of silvicultural treatments for maintaining fertility, which in the long term may become a limiting factor for the development of the stands.
KEYWORDS: Soil fertility; Forest carbon; N-fixing legume; Tropical forestry.

1 | INTRODUÇÃO

Sabe-se que às propriedades químicas e a matéria orgânica tem papel fundamental na fertilidade do solo, sendo as principais fontes de nutrientes para as plantas (ARAUJO; TORMENA; SILVA, 2004). A fertilidade em povoamentos florestais depende de alguns fatores, como a disponibilidade de água, aeração, temperatura do ar e compactação do solo. Os solos florestais em geral são nutricionalmente pobres e sua fertilidade regulada pela ciclagem de nutrientes (RANGER; TURPAULT, 1999).

A intensidade dos fenômenos em povoamentos florestais pode ser grandemente influenciada pelo espaçamento de plantio (BENOMAR; DESROCHERS; LAROCQUE, 2012). Sua escolha é essencial pois está associada a distribuição das raízes, o crescimento da copa, a disponibilidade de água, luz e nutrientes para as árvores, afetando de forma direta a deposição da biomassa (CRAINE; DYBZINSKI, 2013; STAPE et al., 2010; GONÇALVES et al., 2013). Além do espaçamento, espécies que possuem associações com microrganismos fixadores de N_2 da atmosfera, que podem ter seu crescimento favorecido e acumular outros

nutrientes em sua biomassa, favorecem o solo mediante maior retorno de nutrientes após decomposição (CARVALHO, 1998).

Dentre as espécies arbóreas fixadoras de N_2, *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. var. *peregrina,* tem seu valor econômico reconhecido, por possuir características tecnológicas desejáveis à produção de móveis ou para uso estrutural (CARVALHO, 2003). O plantio dessa espécie ainda não é priorizado pela silvicultura brasileira, pois suas características de crescimento, comportamento silvicultural e aptidão nutricional ainda são pouco estudadas. Informações sobre fertilidade do solo e práticas de manejo em povoamentos de *A. peregrina* var. *peregrina* ainda são escassas na literatura.

Em vista da promissora silvicultura das espécies nativas e do pouco conhecimento sobre o manejo de florestas tropicais plantadas, o objetivo deste estudo foi descrever os atributos químicos do solo e investigar a relação entre diferentes espaçamentos de plantio e a fertilidade do solo em povoamentos de *A. peregrina* var. *peregrina*, após 8,2 anos de plantio. Testou-se a hipótese de que os espaçamentos mais adensados intensificam a deposição e incorporação de nutrientes no solo.

2 I MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

Os povoamentos estudados estão localizados em uma área experimental próxima a BR 482, no distrito de Rive, Alegre, ES, denominada “Floresta Piloto”, que pertence ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (Ifes), Campus de Alegre, ES. A área era anteriormente utilizada para atividades agropecuárias com baixa tecnificação e ausência de fertilização mineral, havendo pastejo animal e ocorrência de gramíneas do gênero *Urochloa* sp. como vegetação principal. O clima da região é do tipo Aw na classificação de Köppen, com inverno seco e verão chuvoso, com média anual de 24 ºC e precipitação anual de 1200 mm (ALVARES et al., 2013).

O tipo de solo varia de acordo com os blocos experimentais, de acordo com levantamento realizado pelo Ifes (1984, dados não publicados) em toda extensão da área de estudo. No bloco 1, predomina o Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico; no bloco 2, o solo é classificado como Cambissolo Háplico eutrófico; e no bloco 3 Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. A área experimental é parte do domínio do bioma Mata Atlântica e está inserida na bacia hidrográfica do Rio Itapemirim (EUGÉNIO et al., 2013).

Foram coletadas amostras para caracterização da fertilidade do solo anterior ao plantio, em setembro de 2010. Amostras deformadas foram coletadas conforme caminhamento em zig-zag e formaram duas amostras compostas para cada bloco, de acordo com as profundidades de coleta 0 – 20 cm e 20 – 40 cm. As amostras foram homogeneizadas, acondicionadas em recipiente adequado e enviadas para análise química (Tabela 1), segundo os procedimentos da Embrapa (TEIXEIRA et al., 2017). A classe

textural do solo foi definida e atualizada com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da Embrapa (SANTOS et al., 2018).

Bloco	Camada	pH	P	K	Ca	Mg	H + Al	CTC(T)	SB	C	MO	V	m
	(cm)	H_2O	-- mg dm^{-3} --		------------ cmol$_c$ dm^{-3} ----------					-- g kg^{-1} ---		----- % ------	
1	0 – 20	6,0	2,0	75,1	3,5	2,0	2,9	8,7	5,7	12,2	21,0	66,2	0,0
	20 – 40	5,9	2,7	39,2	4,2	2,1	1,7	8,1	6,4	5,3	9,1	79,2	0,0
2	0 – 20	6,0	1,9	68,6	4,4	2,3	2,9	9,7	6,8	14,4	24,8	70,3	0,0
	20 – 40	6,1	1,9	41,8	4,7	2,0	2,1	8,9	6,9	6,9	12,0	77,0	0,3
3	0 – 20	5,5	2,3	66,7	1,2	1,0	3,1	5,4	2,4	12,2	21,0	43,6	7,7
	20 – 40	5,3	2,0	42,8	0,9	0,8	2,7	4,6	1,9	8,4	14,5	40,8	14,1

Em que: SB - Soma de bases trocáveis; CTC(T) - Capacidade de troca catiônica a pH 7; V - Índice de saturação em bases; m - Índice de saturação em alumínio. Métodos: pH em água - Relação 1:2,5; P, K - Extrator Mehlich^{-1}; Ca, Mg – Extrator KCl, 1 mol L^{-1}; H + Al - Correlação pH-SMP; C - Carbono orgânico (Oxidação por via úmida); MO - Matéria orgânica (C x 1,724).

Tabela 1 – Principais atributos químicos do solo, nove meses antes da implantação dos povoamentos de *A. peregrina* var. *peregrina*, em Alegre, ES.

Fonte: Adaptado de Souza (2018).

2.2 Implantação do povoamento

O povoamento de *A. peregrina* var. *peregrina* foi implantado em junho de 2011. O preparo da área contou com a retirada de bovinos existentes no local, isolamento da área com auxílio de cercas de arame e uso de produto químico a base de glifosato para dessecar as gramíneas e controlar espécies espontâneas. O plantio foi realizado em covas com dimensões de 0,30 m x 0,30 m x 0,30 m e as mudas, com altura média de 0,50 m, foram fornecidas pelo viveiro da Reserva Natural Vale, em Linhares, ES. A adubação inicial foi feita utilizando 220 gramas por planta do formulado NPK 02-30-06, que contém em sua composição os micronutrientes B (0,2 %), Cu (0,2 %) e Zn (0,2 %). A manutenção do plantio foi realizada durante um ano, com operações de replantio, roçada e capina manual.

Foram alocados três blocos, onde foram avaliados três tratamentos que se diferenciam em espaçamentos de plantios, sendo 3 m x 3 m (1111 árvores ha^{-1}), 4 m x 4 m (833 árvores ha^{-1}) e 5 m x 5 m (400 árvores ha^{-1}). Cada bloco possui três repetições, em parcelas amostrais com dimensões de 30 m por 50 m, (área de 1500 m^2), totalizando 27 unidades amostrais. Para a amostragem de solo foi utilizada apenas uma parcela por bloco (nove no total), por questões financeiras e dificuldades referentes a amostragem em trincheiras que demandam maiores esforços e mão de obra.

2.3 Amostragem do solo

Em agosto de 2019, com 8,2 anos após a implantação, foi realizada a amostragem de solo utilizando trincheiras para caracterização química e quantificação dos teores de

carbono orgânico e nitrogênio total em profundidade. Foi alocado um ponto amostral em cada um dos três blocos, para cada espaçamento (tratamento) estudado, totalizando nove pontos amostrais. Em cada ponto amostral foi aberta uma trincheira, com um (01) metro de profundidade, expondo o perfil do solo. A amostragem ocorreu desconsiderando as bordas da parcela, alocando pontos no centro de quatro indivíduos com diâmetros a 1,30 m de altura do solo médios, que representam o povoamento.

As trincheiras foram subdivididas de acordo com as camadas de profundidade 0 – 20, 20 – 40, 40 – 60, 60 – 80 e 80 – 100 cm, de onde amostras deformadas foram extraídas com o auxílio do enxadão. As amostras de cada um dos espaçamentos e profundidades foram acondicionadas em recipientes plásticos e enviadas para o laboratório. Os procedimentos seguiram as recomendações da Embrapa (TEIXEIRA et al., 2017). Para a análise de fertilidade foi utilizado o extrator Mehlich para determinar Fósforo, Potássio e Sódio; Fósforo Remanescente: solução de equilíbrio $CaCl_2$ 10 mmol L^{-1}; pH em água 1:2,5; H+Al - pH SMP; Matéria orgânica: Oxidação com $Na_2Cr_2O_7.2H_2O$ + H_2SO_4 10 mol L^{-1}; Cálcio, magnésio e alumínio: Extrator KCl 1 mol L^{-1}. As análises de carbono orgânico foram realizadas pela oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio e a análise de nitrogênio total através da titulação de solução sulfúrica (digestão Kjeldahl).

2.4 Análise estatística

O delineamento experimental foi em Blocos Casualizados (DBC), com três tratamentos e três repetições. Os dados foram testados quanto a normalidade de resíduos através do teste Shapiro-Wilk. Foi procedida a estatística descritiva, através de parâmetros como média, mínimo e máximo, desvio padrão e coeficiente de variação. Procedeu-se a análise de variância (ANOVA). A análise de variância foi executada em ambiente R, pacote “Expdes.pt” e a estatística descritiva no *software* Bioestat 5.0.

3 | RESULTADOS

Os diferentes espaçamentos de plantio testados não diferiram estatisticamente quanto aos atributos químicos do solo avaliados neste estudo ($p > 0,05$). Foram dispostas as médias dos tratamentos e a estatística descritiva das variáveis considerando todos os tratamentos e repetições, a fim de caracterizar os dados (Tabela 2).

Os blocos experimentais expressaram seus efeitos devido ao contraste entre diferentes tipos de solo, principalmente para Ca até a profundidade de 60 cm e saturação por bases (V) nas camadas intermediárias (entre 20 e 60 cm de profundidade). Dentre as áreas de plantio, o Bloco 2 tem valores superiores aos demais em Ca, contribuindo também para maior V (%), possivelmente em decorrência de uma maior disponibilidade natural de bases. Os teores de Ca e Mg antes do plantio podem ser verificados na Tabela 1. Ocorre nos blocos experimentais solos do tipo Argissolo (predominantemente no bloco

1), Cambissolo (no bloco 2) e Latossolo (no bloco 3). Destes, o Argissolo e o Latossolo são mais profundos e intemperizados e o Cambissolo uma formação mais jovem.

Na camada até 20 cm foi observado alto coeficiente de variação (CV) para as variáveis P (43 %), K (36 %), Ca (32 %), Mg (49 %) e m (66 %). Comparando as profundidades amostradas, foi observada significância nos teores de K para T2 (4 m x 4 m) e nos teores de Ca e Mg para T3 (5 m x 5 m), com decréscimo para as camadas mais profundas. Todos os espaçamentos possuem variação na CTC a pH 7,0 e matéria orgânica do solo (MOS) entre profundidades.

Com base nos níveis ideais para os atributos do solo recomendados por Prezotti (2007) e Prezotti e Guarçoni (2013), pode-se descrever o panorama geral de fertilidade dos solos na área de estudo. A maioria dos solos possuem acidez média, com valor médio de pH em água variando entre 5,1 e 6,0 para a camada superficial do solo. O teor de P se encontra baixo para todos os espaçamentos de plantio. Os níveis de potássio são considerados médios para a camada superficial e variam de médio a baixo nas demais profundidades. Quanto às bases Ca e Mg, os solos possuem teores baixos e médios, respectivamente, tanto para a superfície quanto em profundidade. O solo possui teor médio de matéria orgânica e valores médios para a CTC a pH 7,0 nas camadas superiores. Os solos apresentam baixa saturação por bases, variando entre 38,33 % e 41,97 % para a camada superficial.

Espaçamentos^{ns}	P	K	Ca	Mg	CTC (T)	pH	MOS	(V)	(m)
	--- (mg dm^{-3}) ---		------ (cmol$_c$ dm^{-3}) ------			(H_2O)	(g kg^{-1})	------- (%) -------	
Profundidade 0 – 0,20 m									
3 m x 3 m	4,0	97,0	1,3	0,7	5,8 a	5,4	28,0 a	38,9	10,5
4 m x 4 m	3,3	81,3 a	1,4	0,9	5,9 a	5,5	22,7 a	42,0	10,9
5 m x 5 m	4,0	69,3	1,3 a	0,6 a	5,6 a	5,4	24,7 a	38,3	10,2
Média	3,8	82,6	1,4	0,7	5,8	5,4	25,1	39,7	10,6
Mínimo	2,0	24,0	0,7	0,5	4,8	5,1	17,0	29,1	0,0
Máximo	7,0	130,0	2,0	1,7	7,1	6,0	32,0	56,4	21,3
DP	1,6	29,7	0,4	0,4	0,9	0,3	5,2	8,5	7,0
CV (%)	43	36	32	49	15	5	21	22	66
Profundidade 0,20 - 0,40 m									
3 m x 3 m	2,0	53,0	1,4	0,6	5,5 ab	5,4	18,3 b	37,6	14,1
4 m x 4 m	1,3	48,0 ab	1,2	0,6	5,1 b	5,3	15,7 b	37,0	14,8
5 m x 5 m	1,7	67,0	1,0 ab	0,5 ab	4,6 ab	5,2	12,7 b	35,1	18,7
Média	1,7	56,0	1,2	0,6	5,1	5,3	15,6	36,5	15,9
Mínimo	1,0	20,0	0,6	0,4	4,4	5,1	11,0	26,4	0,0
Máximo	2,0	120,0	2,7	1,0	6,7	5,7	21,0	53,9	23,1

DP	0,5	28,3	0,7	0,2	0,9	0,2	3,5	9,3	8,8
CV (%)	30	51	61	34	17	4	22	25	56
Profundidade 0,40 - 0,60 m									
3 m x 3 m	1,3	78,3	1,4	0,5	4,7 bc	5,5	11,3 c	44,7	6,3
4 m x 4 m	1,0	29,0 b	1,2	0,5	4,7 b	5,3	10,0 bc	37,0	20,9
5 m x 5 m	1,7	55,7	0,9 ab	0,4 ab	4,3 b	5,2	9,7 b	33,7	23,4
Média	1,3	54,3	1,2	0,5	4,6	5,3	10,3	38,5	16,9
Mínimo	1,0	20,0	0,6	0,2	3,9	4,8	9,0	24,1	0,0
Máximo	3,0	110,0	2,7	0,9	6,1	5,9	13,0	57,7	39,4
DP	0,7	34,8	0,7	0,2	0,8	0,4	1,2	11,1	15,0
CV (%)	53	64	63	41	18	7	12	29	89
Profundidade 0,60 - 0,80 m									
3 m x 3 m	1,3	86,7	1,5	0,6	4,4 c	5,8	9,0 c	50,7	3,4
4 m x 4 m	1,0	32,7 ab	1,0	0,8	4,7 b	5,4	8,7 c	38,4	17,3
5 m x 5 m	2,0	73,7	0,9 ab	0,3 b	4,2 b	5,1	8,3 b	33,8	22,9
Média	1,4	64,3	1,1	0,6	4,4	5,5	8,7	40,9	14,5
Mínimo	1,0	18,0	0,5	0,3	3,7	4,8	8,0	22,9	0,0
Máximo	4,0	160,0	2,7	1,7	5,6	6,2	10,0	66,7	33,0
DP	1,0	53,2	0,7	0,5	0,7	0,4	0,7	14,4	12,7
CV (%)	70	83	60	80	15	8	8	35	88
Profundidade 0,80 - 1,00 m									
3 m x 3 m	1,3	89,0	1,5	0,6	4,6 bc	5,8	8,0 c	49,7	8,5
4 m x 4 m	1,3	40,7 ab	1,1	0,8	4,7 b	5,3	7,7 c	40,9	21,8
5 m x 5 m	2,0	79,3	0,7 b	0,3 b	4,3 b	5,1	8,0 b	30,6	26,2
Média	1,6	69,7	1,1	0,6	4,6	5,4	7,9	40,4	18,9
Mínimo	1,0	19,0	0,5	0,2	3,9	4,8	7,0	17,7	0,0
Máximo	4,0	170,0	2,8	1,9	5,7	6,6	9,0	66,6	47,4
DP	1,0	58,9	0,7	0,5	0,7	0,6	0,6	16,1	15,6
CV (%)	65	85	65	89	15	11	8	40	83

Em que: ^{ns} – Não significativo. Valores seguidos da mesma letra nas colunas não diferem entre profundidades de coleta, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. DP – Desvio padrão; CV (%) – coeficiente de variação; CTC (T) – Capacidade de troca de cátions a pH 7,0. MOS – Matéria orgânica do solo. (V) – Saturação por bases. Métodos: P e K - Extrator Mehlich^{-1}; pH - H_2O 1:2,5; MO - Oxidação com $Na_2Cr_2O_7.2H_2O + H_2SO_4$ 10 mol L^{-1}; Ca e Mg - Extrator KCl 1mol L^{-1}.

Tabela 2 – Médias e desvio padrão dos atributos químicos do solo, para diferentes espaçamentos de plantio, em povoamento de *A. peregrina* var. *peregrina* em Alegre, ES.

4 I DISCUSSÃO

Os parâmetros de fertilidade do solo e concentração de nutrientes são dinâmicos e podem ser influenciados pela presença de plantas no sistema. Seus efeitos são mais expressivos em ambientes pouco manejados e com maior tempo de estabelecimento (WARING et al., 2015). A influência do povoamento florestal vai depender das

particularidades de cada espécie e os efeitos na composição química são significantemente mais pronunciados na superfície do piso florestal, onde há deposição de matéria orgânica advinda dos indivíduos arbóreos (MALLIK; HOSSAIN; LAMB, 2008). Para melhor entendimento dos efeitos da vegetação no solo, é recomendável que a camada superficial seja estratificada em espessura inferior a 20 cm.

Quanto a deposição de material vegetal na superfície do solo, não há um padrão definido em função da densidade de plantio. Em estudo realizado por Villa et al. (2016) em área de restauração florestal, os autores reportam maior aporte de serrapilheira apenas para o espaçamento mais adensado (1 m x 1 m). Em espaçamentos não tão adensados, como os testados no presente estudo, houve pouca variação. Além disso, apesar de maior deposição orgânica, em alguns casos os povoamentos adensados tendem a extrair maiores quantidades de nutrientes do solo, com maior competição intraespecífica (DUAN et al., 2019).

A conversão de matéria orgânica em nutrientes para o solo depende de variáveis climáticas, qualidade nutricional, composição de carbono da matéria orgânica depositada e características do solo (BALIN et al., 2017). Para a área experimental dos plantios estudados, as características climáticas e edáficas desejáveis para o desenvolvimento da espécie são atendidas, uma vez que possui precipitação média de 1200 mm e temperatura média anual de 24 ºC (Figura 2), além de solo com textura argilosa. Estas características atendem os parâmetros descritos por Carvalho (2003) para o bom desenvolvimento da espécie. Quanto aos fatores característicos da espécie, *A. peregrina* var. *peregrina* é uma leguminosa, que possui elevado teor de N e baixa razão C:N, influenciando a rápida decomposição e menor tempo de permanência do material orgânico na superfície do solo (COLETTA, 2015). Ainda assim, as mudanças nas características químicas do solo são pouco pronunciáveis em um período curto, como o do presente estudo.

A área experimental abrange diferentes tipos de solo, com processos de formação e fertilidade natural distintas, dificultando a leitura da real influência do espaçamento como fator isolado para os atributos do solo. As diferenças no tipo de solo afetam principalmente a atividade microbiana, uma característica essencial para a transferência de nutrientes ao solo e a estocagem de carbono (MARÍN-SPIOTTA; SHARMA, 2013). Porém, de acordo com Bighi et al. (2021), os povoamentos de *A. peregrina* var. *peregrina* apresentam boa tolerância a condições de fertilidade, sem limitações pronunciadas quanto ao seu desenvolvimento. Deve-se considerar também que as parcelas experimentais do presente estudo foram alocadas em áreas de altitude não variável, mas com variação de declividade (SOUZA, 2018). A posição no relevo pode influenciar os teores de nutrientes em áreas de relevo ondulado na região sul do Espírito Santo, tanto em áreas de pastagem quanto em plantios florestais (EFFGEN et al., 2012). Povoamentos florestais em áreas declivosas tendem a perder quantidades significativas de solo e água em relação a áreas planas, havendo carreamento de nutrientes (SILVA et al., 2011).

Em alguns casos, solos advindos de pastagens podem receber contribuição de material orgânico proveniente de plantas C4, como as gramíneas (TONUCCI et al., 2017). Essas contribuições são capazes de afetar os teores de MOS em função da densidade de plantio, que oferece diferentes condições para o desenvolvimento dessas espécies no sub-bosque (DUAN et al., 2019). No presente estudo, o desenvolvimento de gramíneas nas entrelinhas foi pouco observado. O maior desenvolvimento dessas espécies espontâneas pode ter sido evitado em função da característica de dominância aliada ao possível caráter alelopático de *A. peregrina* var. *peregrina*, como observado por Souza et al., (2012). Outra possível causa pode estar relacionada a sua copa frondosa que impede grandes infiltrações de luz solar. A coexistência de diversos fatores que influenciam os atributos do solo torna o estudo limitado quanto a influência dos espaçamentos na fertilidade do solo. Os atributos testados têm grande variação, comprovada pelo alto coeficiente de variação e desvio padrão, em decorrência do número insuficiente de trincheiras amostradas.

A camada superficial do solo pode ter mantido teores similares de MOS após a implantação do povoamento. Esta camada recebia, quando pastagem, grandes contribuições das espécies gramíneas, que tem alta eficiência fotossintética, convertida em alta produção de material orgânico e raízes finas (SILVA et al., 2013). A variação nos teores de MOS em profundidade aos 8,2 anos de plantio ocorreu em todos os espaçamentos de plantio estudados, sendo superior na camada superficial do solo (0 – 20 cm). Esse resultado corrobora com outros estudos (EFFGEN et al., 2012; DUAN et al., 2019), sendo esperado pois grande parte da matéria orgânica do solo é fornecida por resíduos vegetais depositados em sua superfície, que se incorporam no piso florestal e são decompostos, carreando partículas e compostos químicos em menores quantidades para as camadas inferiores (BRADY, 1984). A variação nos teores de MOS podem influenciar atributos como a CTC, a partir de sua mineralização e fornecimento de íons para a solução do solo (MACHADO et al., 2017).

Apesar de apresentar baixo pH, os valores observados no povoamento são considerados razoáveis para o desenvolvimento de espécies florestais (PREZOTTI; GUARÇONI, 2013). Espécies leguminosas são capazes de promover a estabilização do pH via ciclagem de nutrientes, com baixa relação C/N (HONG et al., 2018), já que tendem a retirar maior quantidade de cátions do solo no processo de fixação de nitrogênio e promover perdas de nitrato, catalisando a acidificação do solo (TANG, 1998). Quanto a saturação de bases, esta é fundamental para o bom desenvolvimento do plantio. Mudas de *Anadenanthera colubrina*, por exemplo, respondem melhor quanto ao crescimento em saturação por bases em torno de 50 % (VARGAS; MARQUES, 2017).

Com base na classificação de estado nutricional proposta por Prezotti e Guarçoni (2013), os teores de Ca são considerados baixos, assim com Mg. Em condições controladas para mudas de *Anadenanthera macrocarpa*, Gonçalves et al. (2012) descreve a espécie como pouco exigente nutricionalmente, especialmente para as bases K e Ca, sendo um

pouco mais exigente em Mg. Ao acessar dados nutricionais de povoamentos florestais no Brasil, Santana et al., (2008) descrevem regiões onde os teores de K, Ca e Mg não atendem à demanda recomendada para os plantios, mas a produção não é fortemente impactada, devido a eficiência na utilização dos nutrientes e na captação pelo sistema radicular em profundidade. Os teores de K, Ca e Mg variam em profundidade para os espaçamentos mais amplos (4 m x 4 m para K, 5 m x 5 m para Ca e Mg), possivelmente em função da ação do sistema radicular mais bem desenvolvido na retirada de nutrientes.

O teor médio de P nos solos do presente estudo (3,78 mg dm^{-3}) não são influenciados pelos espaçamentos e seus valores são inferiores aos valores críticos recomendados para algumas espécies como *A. colubrina* em Latossolo Vermelho distrófico (13,88 mg dm^{-3}) e *Eucalyptus grandis* em Latossolo Vermelho-escuro álico (8,0 mg dm^{-3}) (ISMAEL et al., 1998; GOMES et al., 2004). Segundo Prezotti e Guarçoni (2013), para atender as necessidades básicas da maioria das culturas perenes, é desejável teores de P acima de 10 mg dm^{-3}. O elemento tem disponibilidade natural reduzida, seus teores podem ser afetados por processos erosivos, além de apresentar baixa contribuição na serrapilheira, pois é redistribuído entre os compartimentos da planta (MALAVOLTA, 2006).

5 I CONCLUSÕES

Sob as condições estudadas e idade do povoamento, os espaçamentos de plantio testados não exercem influência sob os atributos químicos do solo do povoamento. Recomenda-se uma amostragem mais ampla e representativa para o estudo de tais atributos, devido a heterogeneidade dos solos amostrados. Os atributos do solo necessitam de manutenção, em especial o P, para obter níveis adequados de fertilidade e prover melhor desenvolvimento da espécie.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – Ifes, Campus de Alegre, pela concessão da área de estudo.

A Fundação de Amparo à pesquisa e Inovação do Espírito Santo (Fapes) por meio do Edital Fapes N° 19/2018- Taxa de Pesquisa (Termo de Outorga: 216/2019) e Edital Fapes/Capes N° 10/2018 (Processo N° 83508490);

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (Processo N° 150073/2018-6) e Chamada CNPq N° 09/2018- Bolsas de Produtividade em Pesquisa (Processo N° 305090/2018-6).

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ARAUJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades Físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa**. Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, p. 337-345, 2004.

BALIN, N. M. et al. Frações da matéria orgânica, índice de manejo do carbono e atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 3, p. 85-94, 2017.

BENOMAR, L.; DESROCHERS, A.; LAROCQUE, G. R. The effects of spacing on growth, morphology and biomass production and allocation in two hybrid poplar clones growing in the boreal region of Canada. **Trees**, v. 26, n. 3, p. 939–949, 2012.

BIGHI, K. N. et al. Nitrogen Pools in tropical plantations of N2-fixing and non-N2-fixing legume trees under different tree stand densities. **Nitrogen**, v. 2, n. 1, p. 86-98, 2021.

BRADY, N. C. **The nature and properties of soils**. New York: Macmillan Publishing Company, 1984, 750 p.

CARVALHO, M. M. **Arborização de pastagens cultivadas**. Juiz de Fora, MG: EMBRAPA – CNPGL, 1998. 37p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras:** Volume 1. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 1039 p.

COLETTA, L. D. **Decomposição foliar na Floresta Ombrófila Densa em diferentes altitudes e condições climáticas**. 2015. 93 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

CRAINE, J. M; DYBZINSKI, R. **Mechanisms of plant competition for nutrients, water and light**. **Functional Ecology**, v. 27, p. 4, 2013.

DUAN, A. et al. Effects of planting density on soil bulk density, pH and nutrients of unthinned Chinese fir mature stands in south subtropical region of China. **Forests**, v. 10, n. 4, p. 351, 2019.

EFFGEN, E. M. et al. Atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob cultivo de eucalipto e pastagem no sul do Espírito Santo. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 95, p. 375-381, 2012.

EUGÉNIO, F. C. et al. Influência do Desmatamento na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica de Rive, Alegre, ES, Brasil. **Silva Lusitana**, v. 21, n. 2, p. 205-218, 2013.

GOMES, K. C. O. et al. Influência da saturação por bases e do fósforo no crescimento de mudas de angico-branco. **Revista Árvore**, v. 28, p. 785-792, 2004.

GONÇALVES, E. O. et al. Nutrição de mudas de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) submetidas a doses de N, P, K, Ca e Mg. **Revista Árvore**, v. 36, p. 219-228, 2012.

GONÇALVES, J. L. D. *et al.* **Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. Forest Ecology Management**, v. 301, p. 6-27, 2013.

HONG, S. et al. Afforestation neutralizes soil pH. **Nature Communications**, v. 9, n. 1, p. 1-7, 2018.

ISMAEL, J. J. et al. Níveis críticos de fósforo no solo e nas folhas para a implantação de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, em quatro tipos de solos. **Scientia Forestalis**, p. 29-40, 1998.

MACHADO, M. R. et al. Land cover changes affect soil chemical attributes in the Brazilian Amazon. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 39, p. 385-391, 2017.

MALAVOLTA, Eurípedes. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 630 p.

MALLIK, A. U.; HOSSAIN, M. K; LAMB, E. G. Species and spacing effects of northern conifers on forest productivity and soil chemistry in a 50-year-old common garden experiment. **Journal of Forestry**, v. 106, n. 2, p. 83-90, 2008.

MARÍN-SPIOTTA, E.; SHARMA, S. Carbon storage in successional and plantation forest soils: a tropical analysis. **Global Ecology and Biogeography**, v. 22, n. 1, p. 105-117, 2013.

PREZOTTI, L. C. et al. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo**: 5ª aproximação. Vitória: SEEA/CEDAGRO/INCAPER, 2007. 305 p.

PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI, A. M. **Guia de interpretações de análise de solo e foliar**. Vitória: Incaper, 2013. 104 p.

RANGER, J. M. P. **Input-output nutrient budgets as a diagnostic-tool for the sustainability of forest management**. **Forest Ecology and Management**, v. 122, p. 7-16, 1999.

SANTANA, R. C. et al. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2723-2733, 2008.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356p.

SILVA, A. B. et al. Estoque de serapilheira e fertilidade do solo em pastagem degradada de *Brachiaria decumbens* após implantação de leguminosas arbustivas e arbóreas forrageiras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 502-511, 2013.

SILVA, M. A. et al. Sistemas de manejo em plantios florestais de eucalipto e perdas de solo e água na região do Vale do Rio Doce, MG. **Ciência Florestal**, v. 21, p. 765-776, 2011.

SOUZA, P. B. de et al. Florística e diversidade das espécies arbustivo-arbóreas regeneradas no sub-bosque de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. **Cerne**, v. 18, p. 413-421, 2012.

SOUZA, P. H. **Biomassa e estoque de carbono em povoamento de *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg sob diferentes espaçamentos**. 2018. 113 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2018.

STAPE, J. L. et al. **The Brazil Eucalyptus potential productivity project: influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production**. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1684-1694, 2010.

TANG, C. Factors affecting soil acidification under legumes I. Effect of potassium supply. **Plant and Soil**, v. 199, n. 2, p. 275-282, 1998.

TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasilia: Embrapa, 2017. 574 p.

TONUCCI, R. G. et al. Grass vs. tree origin of soil organic carbon under different land-use systems in the Brazilian Cerrado. **Plant and Soil**, v. 419, p. 281-292, 2017.

VARGAS, G. de; MARQUES, R. Crescimento e nutrição de angico e canafístula sob calagem e gessagem. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

VILLA, E. B. et al. Aporte de serapilheira e nutrientes em área de restauração florestal com diferentes espaçamentos de plantio. **Floresta e Ambiente**, v. 23, p. 90-99, 2016.

WARING, B. G. et al. Pervasive and strong effects of plants on soil chemistry: a meta-analysis of individual plant 'Zinke' effects. **Proceedings of the Royal Society: Biological Sciences**, v. 282, n. 1812, e20151001, 2015.

CAPÍTULO 5

EXISTE RELAÇÃO DOS ELEMEMTOS CLIMÁTICOS COM A DEPOSIÇÃO DE SERAPILHEIRA EM PLANTIO DE *Eucalyptus*?

Data de aceite: 01/08/2022
Data de submissão: 10/06/2022

Júlio Cézar Tannure Faria
Universidade Federal de Espírito Santo
Jerônimo Monteira – ES
https://orcid.org/0000-0001-7081-3726

Marcos Vinicius Winckler Caldeira
Universidade Federal do Espírito Santo
Jerônimo Monteiro – Espírito Santo
http://orcid.org/0000-0003-4691-9891

Roberto Rorras dos Santos Moura
Instituição: WEG Equipamentos Elétricos S.A. – Transmissão & Distribuição
Cidade: Xique-xique - BA
https://orcid.org/0000-0002-7513-4439

David Pessanha Siqueira
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro
Campos dos Goytacazes – Rio de Janeiro
https://orcid.org/0000-0002-0756-0153

Elzimar de Oliveira Gonçalves
Universidade Federal do Espírito Santo
Jerônimo Monteiro – Espírito Santo
https://orcid.org/0000-0001-7675-2493

Hivo Rebin Eufrasio
Universidade Federal do Espírito Santo
Jerônimo Monteiro – Espírito Santo
https://orcid.org/0000-0002-5707-6693

Tiago de Oliveira Godinho
Vale S.A. – Reserva Natural Vale
Linhares – Espírito Santo
https://orcid.org/0000-0001-6249-6054

Adelson Lemes da Silva Júnior
Universidade Federal de Lavras
Lavras – Minas Gerais
https://orcid.org/0000-0003-0940-8398

RESUMO: A serapilheira desempenha funções importantes nos ecossistemas florestais, formando parte inerente da ciclagem de nutrientes e sendo fonte de matéria orgânica para o solo. Assim, o objetivo desse estudo foi quantificar a serapilheira e o retorno de nutrientes em plantio do híbrido *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis* ao longo do ano e avaliar a resposta da produção de serapilheira em relação aos elementos climáticos. Para tanto, foram alocadas seis parcelas (30 x 30 m; 100 árvores/parcela) em um povoamento comercial do híbrido *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis* (9,6 ha; espaçamento de 3,0 x 3,0 m), situado no município de Aracruz – ES. Em cada parcela, foram distribuídos cinco coletores de serapilheira, sendo esvaziados mensalmente durante um ano (junho de 2014 até maio de 2015), quando o povoamento estava com 27 e 38 meses de idade, respectivamente. A serrapilheira foi separada nas frações: folhas + miscelânea e galhos. A produção de serapilheira apresentou variação mensal com deposição total de 4.797,17 kg ha^{-1} ano^{-1} sendo composta predominantemente pela fração folhas+miscelânea (73 %), a qual também foi a responsável pela maior parte do retorno de nutrientes (82 %). A eficiência na utilização dos macronutrientes foi evidenciada pela seguinte ordem P > S > Mg > K > Ca > N. Verificou-se que nenhum dos elementos climáticos no

mesmo mês de coleta influenciaram de forma significativa a deposição total e da fração folhas+miscelânea. Contudo, houve correlação para a fração galhos, com efeito negativo para umidade do ar mínima e positivo para radiação solar.
PALAVRAS-CHAVE: Ciclagem biogeoquímica; elementos climáticos; conteúdo de nutrientes.

IS THERE A RELATIONSHIP BETWEEN CLIMATE ELEMENTS AND LITER PRODUCTION IN *Eucalyptus* PLANTATIONS?

ABSTRACT: Litter plays an important role in forest ecosystems, composing an inherent part of nutrient cycling and as a source for soil organic matter. Thus, the objective of this study was to quantify litter and nutrient return in a hybrid *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* plantation throughout one year and to evaluate the response of litter production in relation to climatic variables. For this purpose, six plots (30 x 30 m; 100 trees/plot) were allocated in a commercial stand of the hybrid *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (9.6 ha; planting space at 3.0 x 3.0 m), located in the municipality from Aracruz – ES. In each plot, five litter traps were distributed, being emptied monthly for one year (June 2014 to May 2015), when the stand was 27 and 38 months old, respectively. The litter was hand-sorted into fractions: leaves+miscellaneous and branches. Litter production showed monthly variation with a total deposition of 4797.17 kg ha^{-1} $year^{-1}$, being predominantly composed of the leaves/ miscellaneous fraction (73 %), which was also responsible for most of the nutrient return (82 %). Macronutrient use efficiency was evidenced by the following order P > S > Mg > K > Ca > N. It was found that none of the climatic elements in the same month of collection significantly influenced the total deposition and the leaf+miscellanea fraction. However, there was a correlation for the branches fraction, with a negative effect for minimum air humidity and a positive effect for solar radiation.
KEYWORDS: Biogeochemical cycling; climatic variables; nutrient content.

1 I INTRODUÇÃO

Desde o ano 2000 o Brasil vem se consolidando como principal participante internacional do setor de florestas plantadas. Esta fase caracterizou-se pela expansão das áreas plantadas e pela consolidação do desenvolvimento tecnológico do setor (GONÇALVES et al., 2013). Em 2020, os plantios com *Eucalyptus* corresponderam a 78 % da área total de florestas plantadas no Brasil (7,47 milhões de hectares), mantendo sua liderança no ranking global de produtividade florestal, sendo a produtividade média dos plantios desse gênero de 36 m^3 ha^{-1} ano^{-1} (IBÁ, 2021).

Contudo, a sustentabilidade desses plantios de eucalipto de rápido crescimento depende da manutenção das reservas de nutrientes disponíveis no solo ao longo de rotações sucessivas (LACLAU et al., 2003), principlamente em regiões tropicais onde os solos são, em geral, pobres em nutrientes (SAYER, 2006). Isso porque, grandes quantidades de nutrientes são exportados a cada ciclo de corte com a remoção de biomassa (LACLAU et al., 2000).

As árvores absorvem nutrientes do solo, para que ocorra o seu crescimento. Ao mesmo tempo, elas retornam quantidades significativas de nutrientes para solo da floresta através da deposição e decomposição da serapilheira (folhas, galhos, casca, frutos, sementes e flores) (GUO e SIMS, 1999; VITOUSEK e SANFORD, 1986). A serapilheira desempenha dois papéis principais nos ecossistemas florestais: em primeiro lugar, forma parte inerente da ciclagem de nutrientes e é mportante fonte de matéria orgânica para o solo. Em segundo lugar, sua presença física no chão da floresta atua como proteção contra flutuações microclimáticas, erosão e compactação do solo (GUO e SIMS, 1999; SAYER, 2006).

Portanto, uma etapa importante no estudo da ciclagem de nutrientes é a quantificação da deposição da serapilheira. Esta desempenha um papel importante no ciclo de nutrientes em ecossistemas florestais, e pode reduzir a depleção de nutrientes causada pela colheita das árvores em sistemas de produção de curta rotação (GUO et al., 2006; 2002; LACLAU et al., 2010). Fatores ambientais, principalmente temperatura do ar, precipitação e radiação solar, influenciam o padrão sazonal de produção de serapilheira e, portanto, os processos de ciclagem de nutrientes (SILVA et al., 2011; ZHANG et al. 2014).

Nesse sentido, quantificar a produção de serapilheira e, consequentemente, o retorno de nutrientes para o solo pode auxiliar a gestão dos sistemas de produção florestal (RIBEIRO et al., 2002). Diante do exposto, o objetivo desse estudo foi: (i) quantificar a serapilheira e o retorno de nutrientes em um plantio do híbrido *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis*; (ii) avaliar o padrão de deposição da serapilheira e retorno de nutrientes ao longo do ano; e (iii) avaliar a resposta da produção de serapilheira em relação aos elementos climáticos.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O estudo foi desenvolvido em um plantio comercial do híbrido *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis*, situado no município de Aracruz, Espírito Santo.

O relevo é plano, com altitude média de 34 m, sendo o solo caracterizado como Argissolo Amarelo Distrocoeso típico A moderado, bem drenado com textura média/argilosa (SANTOS et al., 2013).

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é caracterizado como tipo Aw; tropical úmido, com estação chuvosa no verão e seca no inverno (ALVARES et al., 2013). A temperatura média do ar anual é de 23 ºC e o índice pluviométrico anual é de 1200 mm (INCAPER, 2015).

Os dados dos elementos climáticos velocidade do vento (média e máxima), precipitação, temperatura do ar (mínima, média e máxima), umidade do ar (mínima, média e máxima) e radiação solar global, no período de realização do estudo foram obtidas na

Estação Meteorológica de Aracruz, localizada a ±2 km de distância do povoamento de *Eucalyptus*.

Os dados de serapilheira foram coletados em um povoamento do híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, com área de 9,6 ha e espaçamento de 3,0 x 3,0 m (densidade de 1.111 plantas ha^{-1}), sendo implantado em abril de 2012, tendo por objetivo a produção de celulose e papel.

Profundidade cm	pH (H_2O)	Al^{3+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	H+Al	CTC pH 7,0	P	K^+	Na	V
		-------------------- $cmol_c$ dm^{-3} ----------------------					-----mg dm^{-3}-----			%
0 – 5	5,5	0,3	1,8	0,4	3,5	5,9	8,8	44,7	27,5	40,3
5 – 10	5,0	0,8	1,2	0,2	3,8	5,4	5,7	32,3	20,2	28,9
10 – 20	4,8	1,0	0,6	0,1	3,8	4,6	3,5	22,0	14,8	18,9
20 – 40	4,6	1,3	0,3	0,1	3,8	4,3	2,3	16,2	13,0	12,9

Em que: Al = alumínio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; Na = Sódio; Al+H = Acidez potencial; CTC pH 7,0 = Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V% = Saturação por bases.

Tabela 1. Atributos químicos do solo na área de estudo, após a implantação da segunda rotação do povoamento de *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis*, Aracruz, ES.

Após o plantio, foram realizados capina química em toda a área, com a aplicação de glifosato, e repetidas as aplicações aos quatro e 10 meses de idade do povoamento. Realizou-se também operações de controle a formigas antes e após o plantio, sendo realizado o monitoramento até o estabelecimento da floresta.

Foram alocadas seis parcelas (30 m x 30 m) no povoamento, totalizando 0,54 ha amostrados. Cada parcela foi composta por 100 árvores. Visando minimizar o efeito de borda, alocou-se as parcelas a uma distância mínima de 20 m da estrada utilizada para o transporte de madeira.

A serapilheira depositada foi coletada mensalmente durante um ano, no período de junho de 2014 até maio de 2015, em que o povoamento estava com 27 e 38 meses de idade, respectivamente. Em cada parcela alocada foram distribuídos cinco coletores, sendo dispostos de forma sistemática, com um coletor em cada vértice e um no centro da parcela. Os coletores foram confeccionados em madeira no formato quadrado com 1,00 m de lado e telas de nylon de 2 mm, e instalados a 0,50 m de altura do solo.

A serapilheira coletada foi separada em duas frações: folhas + miscelânea e galhos. A fração folhas + miscelâneas foi constituída de folhas secas e em estado de decomposição, material reprodutivo, frutos e demais materiais vegetais para os quais não foi possível identificar a origem do material. Na fração galhos, foram incluídos apenas galhos com diâmetro menor que 2 cm. Após a triagem as frações foram acondicionadas em sacos

de papel pardo e colocadas em uma estufa de circulação de ar forçado a ±70 °C, para determinação do peso seco.

O aporte mensal (kg ha^{-1}) e anual (kg ha^{-1} ano^{-1}) de serapilheira foi representado por meio de transformações dos pesos secos de cada fração (gramas) em relação à área do coletor (1,00 m^2) e estimado para hectares.

Para análise química dos macronutrientes (TEDESCO et al., 1995), as amostras foram fragmentadas em moinho do tipo Willey e passadas em peneiras de malha 1,00 mm (20 *mesh*). O material contido nos cinco coletores de cada parcela foi unificado formando uma amostra composta por parcela e mês para cada fração de folhas/miscelânea e galhos. O estoque dos macronutrientes (kg ha^{-1} $mês^{-1}$) foi obtido multiplicando-se o teor do nutriente na serapilheira (g kg^{-1}) e a biomassa seca da serapilheira depositada (kg ha^{-1}) (CUEVAS e MEDINA, 1986).

Após calcular o estoque de macronutrientes depositados pelas diferentes frações da serapilheira, foi realizado o cálculo de eficiência do uso de nutrientes (EUN) para cada fração, fazendo a relação entre a massa seca da serapilheira produzida (kg ha^{-1} ano^{-1}) e a quantidade de nutrientes na serapilheira produzida (kg ha^{-1} ano^{-1}) (VITOUSEK, 1982).

Os valores mensais de deposição da serapilheira e o estoque de nutrientes foram submetidos à análise da homogeneidade das variâncias dos erros pelo Teste de Cochran e da normalidade pelo Teste de Lilliefors. Posteriormente foi realizada a análise de variância com a aplicação do Teste Scott-Knott a 5 % de probabilidade. Para avaliar a influência dos elementos climáticos na produção de serapilheira ao longo do ano, foi calculada uma matriz de correlação de Spearman entre a produção de serapilheira (total e frações) e os elementos climáticos. As análises estatísticas foram realizadas por meio do programa Assistat 7.7.

3 I RESULTADOS

O aporte total de serapilheira foi de 4797,58 kg ha^{-1} ano^{-1}. A fração folhas+miscelânea contribuiu com 72,64 % de toda a serapilheira depositada aos dozes meses de estudo, com maior deposição no mês de junho de 2014 (Tabela 2). A contribuição da biomassa da fração galhos foi de 27,36 % do total de serapilheira depositada, quase três vezes menor do que a fração folhas, tendo a sua maior deposição no mês de outubro de 2014.

Avaliando a deposição média mensal relativa (Figura 1), observou-se que a biomassa da fração galhos foi superior à da fração folhas+miscelânea somente no mês de março de 2015. Produções semelhantes para as duas frações ocorreram nos meses de outubro e dezembro de 2014 e abril de 2015. Entretanto, na maioria dos meses avaliados a fração folhas+miscelânea compreende mais de 60 % da biomassa de serapilheira produzida.

Mês/ano	Folhas+miscelânea			Galhos			Total		
jun./14	730,95	a*	± 103,40**	37,26	d	± 21,01	768,21	a	± 102,60
jul./14	117,80	e	± 26,98	12,65	d	± 11,76	130,45	e	± 33,41
ago./14	127,03	e	± 33,77	50,91	d	± 30,94	177,94	e	± 61,87
set./14	310,58	d	± 86,82	171,44	b	± 40,55	482,02	b	± 118,40
out./14	374,14	c	± 86,73	311,57	a	± 44,60	685,70	a	± 100,17
nov./14	259,75	d	± 42,05	73,48	c	± 25,39	333,22	c	± 60,55
dez./14	131,39	e	± 27,04	106,81	c	± 48,76	238,19	d	± 70,02
jan./15	331,39	c	± 42,39	99,51	c	± 24,40	430,91	b	± 30,21
fev./15	449,96	b	± 80,91	162,78	b	± 60,02	612,74	a	± 128,25
mar./15	72,91	f	± 16,58	87,41	c	± 34,91	160,31	e	± 35,91
abr./15	135,11	e	± 18,60	102,35	c	± 14,13	237,46	d	± 150,21
maio/15	444,17	b	± 25,17	96,25	c	± 87,39	540,42	b	± 105,36
Média (kg ha^{-1} $mês^{-1}$)	290,43			109,37			399,80		
Total (kg ha^{-1} ano^{-1})	3485,17			1312,41			4797,58		
CV (%)***	66,18			71,71			54,71		

*Valores seguidos pela mesma letra nas colunas, são estatisticamente iguais pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). **desvio padrão da média. ***Coeficiente de variação.

Tabela 2. Aporte médio por fração e total da serapilheira (kg ha^{-1}) depositada em doze meses, em povoamento de *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis*, Aracruz, ES.

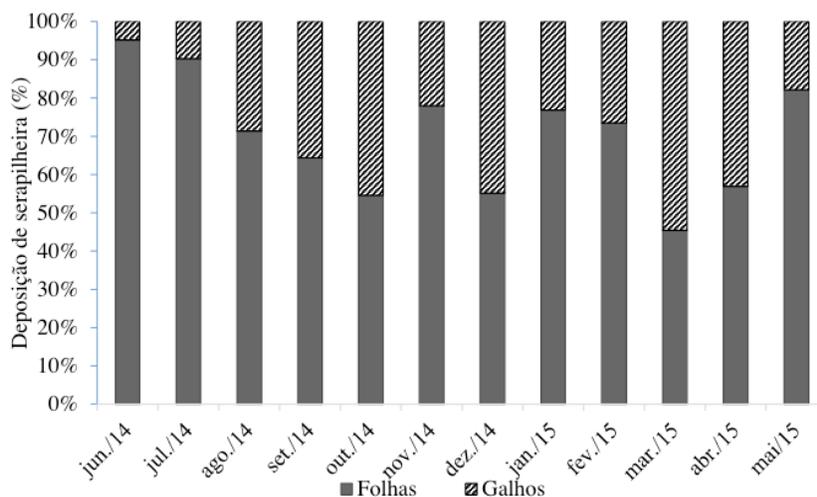



Figura 1. Proporções de deposição entre as frações folhas+miscelânea e galhos, em povoamento de *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis*, Aracruz, ES.

Ao correlacionar o aporte de serapilheira com os elementos climáticos, verificou-se que nenhum dos elementos climáticos no mesmo mês de coleta influenciaram de forma significativa a deposição total e da fração folhas+miscelânea. Contudo, houve correlação

para a fração galhos, com efeito negativo para umidade do ar mínima e positivo para radiação solar (Tabela 3). Quando se correlacionou a deposição da serapilheira com os elementos climáticos de um mês anterior, foi observado correlações negativas para a serapilheira total e para a fração folhas+miscelânea com a umidade do ar (mínima, média e máxima), ou seja, quanto menor a umidade do ar maior a deposição de serapilheira total e da fração folhas+miscelânea. Para todas as correlações da deposição de serapilheira com os elementos climáticas do período de dois até cinco meses anteriores, foi observado apenas uma correlação negativa entre a o total de deposição e a precipitação.

Analisando a precipitação para o período de estudo, nota-se valor total anual menor (1007 mm) que aquele esperado conforme média de 2011 a 2015 (1245 mm). Os menores valores de precipitação foram observados nos meses de set./14 e jan./15 (Figura 2). Verifica-se também redução da umidade relativa do ar média em set./14. A temperatura média do ar é maior no verão e menor no inverno, como esperado.

Elementos climáticos	Folha+miscelânea					
	Mesmo mês	1 mês antes	2 meses antes	3 meses antes	4 meses antes	5 meses antes
Velocidade Vento (máx.) (m s^{-1})	-0,05^{1ns}	0,02^{ns}	0,16^{ns}	0,07^{ns}	-0,03^{ns}	0,11^{ns}
Velocidade Vento (méd.) (m s^{-1})	-0,03^{ns}	0,10^{ns}	0,08^{ns}	0,15^{ns}	0,05^{ns}	0,05^{ns}
Precipitação mensal (mm)	-0,31^{ns}	-0,37^{ns}	0,39^{ns}	0,12^{ns}	-0,41^{ns}	-0,49^{ns}
Temperatura do ar (méd.) (°C)	0,09^{ns}	0,22^{ns}	-0,05^{ns}	-0,10^{ns}	0,06^{ns}	0,07^{ns}
Temperatura do ar (máx.) (°C)	0,09^{ns}	0,22^{ns}	-0,12^{ns}	-0,17^{ns}	-0,01^{ns}	0,00^{ns}
Temperatura do ar (mín.) (°C)	0,11^{ns}	0,15^{ns}	-0,02^{ns}	-0,07^{ns}	0,06^{ns}	0,07^{ns}
Umidade Relativa do ar (méd.) (%)	-0,20^{ns}	-0,61*	0,45^{ns}	0,38^{ns}	-0,15^{ns}	-0,26^{ns}
Umidade Relativa do ar (máx.) (%)	-0,23^{ns}	-0,50*	0,43^{ns}	0,30^{ns}	-0,14^{ns}	-0,30^{ns}
Umidade Relativa do ar (mín.) (%)	-0,14^{ns}	-0,69**	0,36^{ns}	0,34^{ns}	-0,13^{ns}	-0,14^{ns}
Radiação solar (média) (W m^{-2})	-0,03^{ns}	0,46^{ns}	0,06^{ns}	-0,13^{ns}	0,10^{ns}	0,26^{ns}
	Galhos					
Velocidade Vento (máx.) (m s^{-1})	0,28^{ns}	0,44^{ns}	0,24^{ns}	0,08^{ns}	0,06^{ns}	0,22^{ns}
Velocidade Vento (méd.) (m s^{-1})	0,45^{ns}	0,36^{ns}	0,18^{ns}	0,05^{ns}	-0,10^{ns}	-0,14^{ns}
Precipitação mensal (mm)	-0,25^{ns}	-0,14^{ns}	0,45^{ns}	0,16^{ns}	0,19^{ns}	-0,06^{ns}
Temperatura do ar (méd.) (°C)	0,47^{ns}	0,10^{ns}	-0,28^{ns}	-0,39^{ns}	-0,43^{ns}	-0,48^{ns}
Temperatura do ar (máx.) (°C)	0,47^{ns}	0,10^{ns}	-0,29^{ns}	-0,40^{ns}	-0,44^{ns}	-0,48^{ns}
Temperatura do ar (mín.) (°C)	0,49^{ns}	0,07^{ns}	-0,26^{ns}	-0,41^{ns}	-0,43^{ns}	-0,48^{ns}
Umidade Relativa do ar (méd.) (%)	-0,40^{ns}	-0,39^{ns}	0,48^{ns}	0,38^{ns}	0,00^{ns}	-0,27^{ns}
Umidade Relativa do ar (máx.) (%)	-0,16^{ns}	-0,30^{ns}	0,41^{ns}	0,25^{ns}	-0,03^{ns}	-0,30^{ns}
Umidade Relativa do ar (mín.) (%)	-0,58*	-0,41^{ns}	0,45^{ns}	0,46^{ns}	0,23^{ns}	-0,09^{ns}
Radiação solar (média) (W m^{-2})	0,53*	0,22^{ns}	-0,41^{ns}	-0,48^{ns}	-0,48^{ns}	-0,48^{ns}

	Total					
Velocidade Vento (máx.) (m s-1)	0,01 ns	0,01 ns	0,09 ns	-0,09 ns	-0,14 ns	0,03 ns
Velocidade Vento (méd.) (m s-1)	0,06 ns	0,09 ns	0,02 ns	-0,01 ns	-0,09 ns	-0,08 ns
Precipitação mensal (mm)	-0,20 ns	-0,43 ns	0,35 ns	0,13 ns	-0,35 ns	-0,52*
Temperatura do ar (méd.) (°C)	0,07 ns	0,10 ns	-0,20 ns	-0,25 ns	-0,08 ns	0,00 ns
Temperatura do ar (máx.) (°C)	0,07 ns	0,10 ns	-0,28 ns	-0,33 ns	-0,16 ns	-0,08 ns
Temperatura do ar (mín.) (°C)	0,09 ns	0,05 ns	-0,19 ns	-0,22 ns	-0,08 ns	0,00 ns
Umidade Relativa do ar (méd.) (%)	-0,27 ns	-0,71**	0,36 ns	0,48 ns	-0,08 ns	-0,29 ns
Umidade Relativa do ar (máx.) (%)	-0,27 ns	-0,61*	0,30 ns	0,36 ns	-0,11 ns	-0,32 ns
Umidade Relativa do ar (mín.) (%)	-0,22 ns	-0,80**	0,31 ns	0,47 ns	0,01 ns	-0,15 ns
Radiação solar (média) (W m-2)	0,03 ns	0,43 ns	-0,06 ns	-0,27 ns	-0,07 ns	0,09 ns

[1]Coeficiente de correlação de Spearman; ns: não significativo pelo teste t ($p \leq 0,01$); * Significativo pelo teste t ($p \leq 0,01$); ** Significativo pelo teste t ($p \leq 0,05$).

Tabela 3. Correlação entre as frações da serapilheira e os elementos climáticos, em povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, Aracruz, ES.

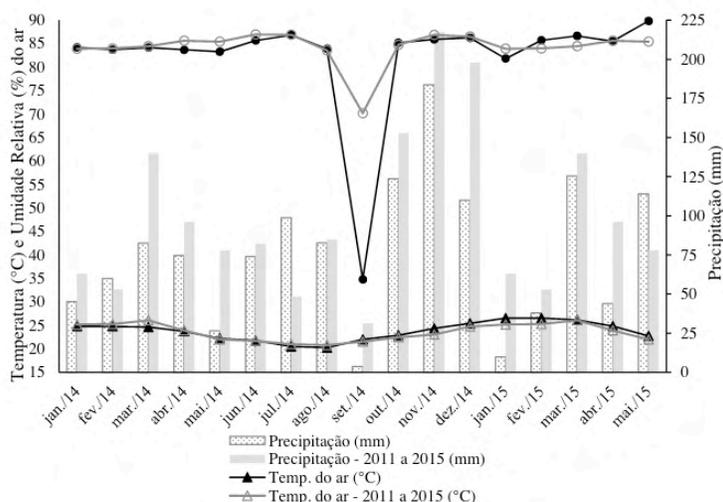



Figura 2. Precipitação mensal (mm), temperatura do ar média mensal (ºC) e umidade relativa do ar média, Aracruz, ES

O estoque total de nutrientes devolvido ao solo por meio da serapilheira depositada durante os dozes meses, foi composto principalmente pela fração folhas/miscelânea (82 %), sendo o restante depositado pela fração galhos (Tabelas 4 e 5). O retorno total de macronutrientes na fração folhas/miscelânea foi estimado em 101,85 kg ha^{-1} ano^{-1} e na fração galhos foi estimado em 21,98 kg ha^{-1} ano^{-1}.

O Ca e o N foram os elementos que tiveram as maiores transferências para a camada superficial do solo (45,22 e 43,88 kg ha^{-1} ano^{-1}, respectivamente), juntos correspondem a

72 % do total de macronutrientes devolvidos ao solo. O fósforo teve somente 2 % (2,61 kg ha^{-1} ano^{-1}) de toda a quantidade transferida dentre os macronutrientes. A magnitude decrescente do conteúdo médio de nutrientes depositado na fração folhas/miscelânea foi de N > Ca > K > Mg > S > P e para a fração galhos foi de Ca > N > K > Mg > S > P.

De modo geral, foi observado que os meses de junho de 2014 e outubro de 2014, para as frações folhas+miscelânea e galhos, respectivamente foram os que apresentaram maiores conteúdos de nutrientes (Tabelas 4 e 5), coincidindo com os períodos de maior deposição de biomassa, períodos esses com altos valores de precipitação e baixas temperaturas (Figura 1).

Mês/ano	N			P			K			Ca			Mg			S		
	kg ha^{-1}																	
jun./14	6,84	a*	± 0,90**	0,43	a	± 0,07	3,11	a	± 0,44	7,36	a	± 1,05	1,89	a	± 0,26	1,09	a	± 0,17
jul./14	1,69	e	± 0,37	0,09	f	± 0,02	0,31	e	± 0,09	1,24	e	± 0,25	0,30	f	± 0,07	0,17	f	± 0,04
ago./14	1,87	e	± 0,54	0,11	e	± 0,03	0,40	e	± 0,12	1,24	e	± 0,33	0,37	f	± 0,10	0,23	e	± 0,06
set./14	3,37	c	± 0,71	0,20	d	± 0,06	0,73	d	± 0,16	3,14	d	± 0,93	0,81	d	± 0,25	0,44	d	± 0,12
out./14	4,07	b	± 0,90	0,25	c	± 0,07	1,02	c	± 0,24	4,14	c	± 0,89	1,13	c	± 0,29	0,60	c	± 0,14
nov./14	3,02	c	± 0,55	0,15	e	± 0,03	0,30	e	± 0,04	2,75	d	± 0,50	0,59	e	± 0,06	0,37	d	± 0,05
dez./14	2,36	d	± 0,75	0,12	e	± 0,03	0,47	e	± 0,23	1,02	e	± 0,21	0,36	f	± 0,09	0,26	e	± 0,08
jan./15	3,29	c	± 0,62	0,20	d	± 0,02	1,53	b	± 0,20	3,10	d	± 0,52	1,06	c	± 0,15	0,41	d	± 0,05
fev./15	4,89	b	± 1,18	0,30	b	± 0,06	1,33	b	± 0,21	5,37	b	± 0,82	1,46	b	± 0,24	0,87	b	± 0,16
mar./15	0,91	e	± 0,24	0,06	f	± 0,02	0,24	e	± 0,06	0,77	e	± 0,19	0,26	f	± 0,05	0,16	f	± 0,04
abr./15	1,36	e	± 0,28	0,05	f	± 0,01	0,26	e	± 0,05	0,97	e	± 0,14	0,37	f	± 0,08	0,14	f	± 0,04
maio/15	4,43	b	± 0,51	0,25	c	± 0,04	1,58	b	± 0,14	4,08	c	± 0,58	1,24	c	± 0,17	0,52	c	± 0,07
Total	38,10			2,20			11,27			35,17			9,85			5,26		
Média	3,17			0,18			0,94			2,93			0,82			0,44		
s***	1,70			0,11			0,85			2,05			0,53			0,30		
CV (%)****	53,63			61,11			90,43			69,97			64,63			68,18		

*Valores seguidos pela mesma letra nas colunas, são estatisticamente iguais pelo teste de Scott-Knott (p≤0,05). **Desvio padrão da média por coleta. ***Desvio padrão da média dos tratamentos. ****Coeficiente de variação.

Em que: Total = kg ha^{-1} ano^{-1}; Média = kg ha^{-1}

Tabela 4. Estoque de macronutrientes na fração folhas+miscelânea, em um povoamento de *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis*, Aracruz, ES.

Mês/ano	N			P			K			Ca			Mg			S		
	kg ha^{-1}																	
jun./14	0,10	d*	± 0,06**	0,01	d	± 0,01	0,12	d	± 0,09	0,23	d	± 0,16	0,02	d	± 0,02	0,02	d	± 0,01
jul./14	0,06	d	± 0,05	0,00	e	± 0,00	0,04	e	± 0,04	0,09	d	± 0,08	0,01	d	± 0,01	0,01	e	± 0,01
ago./14	0,27	c	± 0,18	0,01	d	± 0,01	0,18	c	± 0,12	0,40	c	± 0,25	0,04	c	± 0,02	0,03	d	± 0,02
set./14	0,60	b	± 0,21	0,04	c	± 0,02	0,41	b	± 0,13	1,35	b	± 0,40	0,14	b	± 0,05	0,08	c	± 0,02
out./14	1,26	a	± 0,30	0,11	a	± 0,05	1,02	a	± 0,21	2,22	a	± 0,35	0,26	a	± 0,04	0,17	a	± 0,03
nov./14	0,35	c	± 0,14	0,03	c	± 0,01	0,18	d	± 0,07	0,55	c	± 0,20	0,08	c	± 0,03	0,05	c	± 0,02
dez./14	0,45	c	± 0,25	0,03	c	± 0,02	0,34	c	± 0,22	0,60	c	± 0,24	0,09	c	± 0,04	0,06	c	± 0,03
jan./15	0,45	c	± 0,12	0,03	c	± 0,01	0,28	c	± 0,07	0,69	c	± 0,15	0,09	c	± 0,02	0,06	c	± 0,01
fev./15	0,78	b	± 0,19	0,06	b	± 0,03	0,49	b	± 0,21	1,46	b	± 0,89	0,17	b	± 0,09	0,18	a	± 0,08
mar./15	0,35	c	± 0,13	0,03	c	± 0,02	0,25	c	± 0,14	0,61	c	± 0,37	0,07	c	± 0,03	0,09	c	± 0,04
abr./15	0,45	b	± 0,67	0,02	c	± 0,02	0,07	d	± 0,09	0,76	b	± 1,16	0,10	b	± 0,15	0,06	b	± 0,10
maio/15	0,66	b	± 0,63	0,03	c	± 0,03	0,28	c	± 0,24	1,08	b	± 1,05	0,14	b	± 0,14	0,07	c	± 0,06
Total	5,79			0,41			3,65			10,05			1,21			0,88		
Média	0,48			0,03			0,30			0,84			0,10			0,07		
s***	0,32			0,03			0,26			0,60			0,07			0,05		
CV (%)****	66,67			100			86,67			71,43			70,00			71,43		

*Valores seguidos pela mesma letra nas colunas, são estatisticamente iguais pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). **Desvio padrão da média por coleta. ***Desvio padrão da média dos tratamentos. ****Coeficiente de variação.

Em que: Total = kg ha^{-1} ano^{-1}; Média = kg ha^{-1}

Tabela 5. Estoque de macronutrientes na fração galhos, em povoamento de *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis*, Aracruz, ES.

No povoamento de *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis* observou-se que dentre os macronutrientes, maior eficiência na utilização do P e do S (Tabela 6). O N foi o que mais retornou ao solo por meio da fração folhas/miscelânea, e o Ca dentro da fração galhos, sendo os nutrientes de menor eficiência na utilização pelo povoamento nas respectivas frações.

Fração	N	P	K	Ca	Mg	S
Folhas+miscelânea	91	1583	309	99	354	663
Galhos	227	3189	360	131	1088	1489
Total	109	1836	321	106	434	782

Tabela 6. Eficiência de uso dos macronutrientes pelas frações folhas+miscelâneas e galhos e total depositado, em povoamento de *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis*, Aracruz, ES

4 I DISCUSSÃO

As estimativas obtidas do total anual de serapilheira depositada (4798 kg ha^{-1} ano^{-1}) são similares a outros estudos com espécies do gênero *Eucalyptus* com idade semelhante (SILVA et al., 2013; SILVA et al., 2011; GUO et al., 2006). As folhas constituíram a maior proporção da biomassa de serapilheira que caiu ao solo (CIZUNGU et al., 2014; GUO et al.,

2006). No presente estudo, 73 % da serapilheira total depositada foi constituída pela fração folhas/miscelânea (Tabela 2).

Ao correlacionar o aporte de serapilheira com os elementos climáticos (Tabela 3), nem sempre é possível verificar correlações significativas, principalmente quando se analisa o clima no mês de coleta. A planta necessita de um tempo para responder fisiologicamente às mudanças do ambiente. Como observado em outros estudos (SILVA et al., 2011; SILVA et al., 2013; ZHANG et al., 2014), houve maior deposição da fração folhas/miscelânea na estação seca (inverno) (Tabela 2), onde 21 % de toda biomassa da fração folhas+miscelânea foi depositada em jun./14. A maior queda de folhas ocorrendo em momentos de déficit hídrico pode ser resultado da "estratégia" dos eucaliptos em reduzir o consumo de água através da diminuição na área foliar (SILVA et al., 2011; LADIGES, 1975). Em um estudo desenvolvido na Austrália, foi observado que o déficit de água e temperatura atuaram interativamente nas diferenças em índices de área foliar entre plantios de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus nitens* (BATTAGLIA; BEADLE; LOUGHHEAD, 1996).

O segundo maior pico de deposição para a fração folhas+miscelânea ocorreu em fev./15 e mai./15, o que pode estar relacionado com a redução da precipitação em jan./15 e abr./15 (Figura 2). Mesmo não havendo correlação significativa entre a deposição da fração folhas+miscelânea e a precipitação como observado por Barlow et al. (2007), houve correlação negativa entre a deposição dessa fração e a umidade relativa do ar (UR) do mês anterior àquele de coleta da serapilheira (Tabela 3). Nota-se queda da UR em mai./14, jan./15 e abr./15 (Figura 2), e consequente, aumento da produção de folhas+miscelânea nos meses seguintes. Em set./14 houve uma queda brusca da UR e da precipitação, resultando em aumento na produção de folhas/miscelânea um mês depois (out./14) (Tabela 2), não se destacando como pico de deposição dessa fração provavelmente por causa da grande quantidade de folhas/miscelânea depositadas em jun./14.

O pico de deposição da fração galhos ocorreu em out./14 (24 % da biomassa anual de galhos). Esse pico de produção de galhos pode estar ligado ao fechamento do dossel desse povoamento que marca o maior valor de índice de área foliar. Estudos relatam fechamento do dossel em plantios de eucalipto nessa região aos 24 meses (ALMEIDA et al. 2015; XAVIER et al., 2002). Os meses de jun./14 a ago./14 apresentam a menor produção de galhos.

A deposição total de serapilheira foi maior em jun./14, out./14 e fev./15, acompanhando os picos de produção das frações estudadas (Tabela 2). A maior deposição de serapilheira em fev./15 (Tabela 2) é uma resposta da redução da precipitação ocorrida em set./14 (Figura 2). Não houve correlação com o mês anterior de coleta, porém, no mês anterior ao pico máximo de deposição ocorreu redução da precipitação.

Assim como observado nesse estudo, em florestas tropicais, a deficência hídrica é sempre um fator limitante, e a precipitação é um dos elementos climáticos de maior influência sobre os padrões sazonais. Os picos de produção de serapilheira normalmente

ocorrem nos meses mais secos, principalmente no inverno ou na primavera (ZHANG et al., 2014). De forma geral, localidades com alta precipitação pluviométrica normalmente apresentam maior produção de serapilheira do que em regiões mais secas. A frequência e distribuição das chuvas também são importantes fatores na deposição, sendo necessária a consideração da ocorrência de intempéries incomuns no clima da região, uma vez que estes podem alterar a deposição de serapilheira, tanto em sistemas florestais naturais, como em florestas plantadas (ANDRADE et al., 2003).

Os resultados do retorno de nutrientes através da serapilheira no presente estudo foram semelhantes a outros estudos em florestas de eucalipto (SILVA et al., 2013; GUO et al., 2006). A transferência de nutrientes ao solo acompanha a tendência de deposição da serapilheira (GUO et al., 2006). Esse padrão também foi observado neste estudo, sendo composta principalmente pela fração folhas/miscelânea. Devido à sua predominância de biomassa, essa fração retornou a maior quantidade de macronutrientes (ALMEIDA et al., 2010). Portanto, uma vez que o maior retorno de nutrientes através da serapilheira ocorreu no inverno, as árvores de eucalipto devem ser colhidas após esse período para minimizar a depleção de nutrientes do local (GUO et al., 2006). Considerando o total de serapilheira, o Ca, que é um nutriente imóvel na planta, e, portanto, não é redistribuído para tecidos novos, foi o nutriente mais fornecido em quantidade sobre o piso florestal do povoamento do presente estudo. Esse nutriente, juntamente com o N transferiram 72 % do total de macronutrientes devolvidos ao solo.

A eficiência no uso dos nutrientes é um índice que avalia o funcionamento do ecossistema, sendo um indicador que relaciona a produção de biomassa por unidade de nutriente adquirido ou perdido (VITOUSEK, 1982). Os maiores valores mostram uma melhor eficiência na produção de biomassa por unidade do nutriente. Neste estudo, a fração galhos possui maior eficiência na utilização de nutrientes quando comparada a fração folhas+miscelânea (Tabela 6). O P apresentou melhor eficiência no uso pelo povoamento de *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis.* Estes dados corroboram com os estudos de (GODINHO et al., 2013; PINTO et al., 2009), onde os autores observaram maior eficiência no uso dos nutrientes para o P, dentro dos macronutrimentos.

A circunstância de que a ordem decrescente de eficiência no uso dos macronutrientes deste estudo (P > S > Mg > K > Ca > N) ser contrária às concentrações verificadas na serapilheira depositada (N > Ca > K > Mg > S > P) indica que os processos de conservação dos nutrientes se fazem presentes no povoamento de *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis.*

As plantações de eucalipto realizam eficiências de uso de nutrientes elevados, ou eficiência de baixo consumo de nutrientes, por causa de baixas concentrações de nutrientes em seus tecidos (BARGALI et al., 1992). A maior eficiência de utilização de nutrientes expressa a economia no uso destes, mostrando uma possibilidade de limitação na produção primária no ambiente, enquanto a baixa eficiência assinala que o suprimento de nutrientes

é mais adequado (VITOUSEK, 1982). Está baixa eficiência no uso de nutrientes também indica uma ciclagem mais associada ao ciclo biogeoquímico, além de melhorar a fertilidade do solo. Enquanto que uma alta eficiência indica uma maior translocação para a biomassa viva, ou seja, quanto maior a eficiência no uso de nutrientes menor a deficiência pelo nutriente (JACOBSON, 2009). Dessa forma, pode-se ressaltar que altos valores no índice de utilização dos nutrientes indicam uma ciclagem de nutrientes mais eficiente (GAMA-RODRIGUES e BARROS, 2002).

5 I CONCLUSÃO

A serapilheira mostra picos de deposição para a fração folhas+miscelânea na estação seca. Essa fração constituiu a maior proporção da biomassa de serapilheira depositada, sendo também responsável pela maior parte do retorno de nutrientes. Nem sempre foi possível verificar correlações significativas entre a produção de serapilheira em relação aos elementos climáticos, principalmente quando analisamos o clima no mês de coleta.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Empresa Suzano Papel e Celulose SA, pelo apoio no planejamento, operações e financiamento do projeto, oferecendo todo o apoio necessário para a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. Q.; RIBEIRO, A.; DELGADO, R. C.; RODY, Y. P.; OLIVEIRA, A. S.; LEITE, F. P. **Índice de Área Foliar de *Eucalyptus* Estimado por Índices de Vegetação Utilizando Imagens TM - Landsat 5**. Floresta e Ambiente, Seropédica, v. 22, n. 3, 2015.

ALMEIDA, J. C. R.; LACLAU, J. P.; GONÇALVES, J. L. D. M.; RANGER, J.; SAINT-ANDRÉ, L. **A positive growth response to NaCl applications in *Eucalyptus* plantations established on K-deficient soils.** Forest Ecology and Management, v. 259, n. 9, pp. 1786–1795, 2010.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil.** Meteorologische Zeitschrift, [S.l.], v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ANDRADE, A. G.; TAVARES, S. R. L.; COUTINHO, H. L. C. **Contribuição da serapilheira para recuperação de áreas degradadas e para manutenção da sustentabilidade de sistemas agroecológicos.** Informe agropecuário, Belo Horizonte, v. 24, n. 220, p. 55-63, 2003.

BARGALI, S. S.; SINGH, R. P.; SINGH, S. P. **Structure and function of an age series of eucalypt plantations in Central Himalaya. II. Nutrient dynamics.** Annals of Botany, v. 69, n. 5, p. 413 – 421, 1992.

BARLOW, J.; GARDNER, T. A.; FERREIRA, L. V.; PERES, C. A. **Litter fall and decomposition in primary, secondary and plantation forests in the Brazilian Amazon.** Forest Ecology and Management, Amsterdam, v. 247, n. 1, p. 91-97, 2007.

BATTAGLIA, M.; BEADLE, C.; LOUGHHEAD, S. **Photosynthetic temperature responses of *Eucalyptus globus* and *Eucalyptus nitens*.** Tree Physiology, [S.l.], v. 16, p. 81–90, 1996.

BRAY, J. R.; GORHAM, E. **Litter production in forests of the world.** Advances in Ecological Research v.2, p. 102–157, 1964.

CIZUNGU, L.; STAELENS, J.; HUYGENS, D.; WALANGULULU, J.; MUHINDO, D.; CLEEMPUT, O. V.; BOECKX, P. **Litterfall and leaf litter decomposition in a central African tropical mountain forest and *Eucalyptus* plantation**. Forest Ecology and Management, v. 326, p. 109–116, 2014.

CUEVAS, E.; MEDINA, E. **Nutrient dynamics within amazonian forest ecosystems**. Oecologia, [S.l.], v. 68, n. 3, p. 466–472, 1986.

SANTOS, H. G. dos. Et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353p.

GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F. **Ciclagem de nutrientes em floresta natural e em plantios de eucalipto e de dandá no sudeste da Bahia, Brasil.** Revista Árvore, Viçosa, MG, v. 2, n. 26, p. 193–207, 2002.

GODINHO, T. de O. et al. **Fertilidade do solo e nutrientes na serapilheira em fragmento de Floresta Estacional Semidecidual.** Ecologia e nutrição florestal, Santa Maria, RS, v. 1, n. 3, p. 97–109, 2013.

GUO, L. B.; SIMS, R. E. H. **Litter production and nutrient return in New Zealand eucalypt short-rotation forests: implications for land management**. Agriculture, Ecosystems and Environment, v. 73, p. 93±100, 1999.

GUO, L. B.; SIMS, R. E. H.; HORNE, D. J. **Biomass production and nutrient cycling in *Eucalyptus* short rotation energy forests in New Zealand: I. Biomass and nutrient accumulation.** Bioresource Technology, V. 85, P. 273–283, 2002.

GUO, L. B.; SIMS, R. E. H.; HORNE, D. J. **Biomass production and nutrient cycling in Eucalyptus short rotation energy forests in New Zealand: II. Litter fall and nutrient return.** Biomass and Bioenergy, v. 30, p. 393–404, 2006.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório 2021**. Ano base 2020. Brasília, 2021.

INCAPER. Instituto Capixada de Pesquisa, Assitência Técnica e Extensão Rural, 2015. Disponível em: <http://hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/> Acesso em: 07 outubro 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE**). Manual técnico da vegetação brasileira**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 2012, 275 p.

LACLAU, J. P.; DELEPORTE, F.; RANGER, J.; BOUILLET, J. P.; KAZOTTI, G. **Nutrient Dynamics throughout the Rotation of *Eucalyptus* Clonal Stands in Congo**. Annals of Botany. Jun; v. 91, n.7, pag. 879–892, 2003.

LACLAU, J.-P. et al. **Biogeochemical cycles of nutrients in tropical Eucalyptus plantations: Main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil.** Forest Ecology and Management, [S.l.], v. 259, n. 9, p. 1771–1785, 2010.

LADIGES, P. Y**. Some aspects of tissue water relations in three populations of *Eucalyptus viminalis* Labill.** New Phytologist, [S.l.], v. 75, n. 1, p. 53–62, 1975.

PINTO, S. I. D. C. et al. **Ciclagem de nutrientes em dois trechos de Floresta Estacional Semidecidual na Reserva Florestal Mata do Paraíso em Viçosa, MG, Brasil.** Revista Árvore, Viçosa, MG, v. 33, n. 4, p. 653–663, 2009.

RIBEIRO, C.; MADEIRA, M.; ARAÚJO, M. C. **Decomposition and nutrient release from leaf litter of *Eucalyptus globulus* grown under different water and nutrient regimes**. Forest Ecology and Management, v. 171(1-2), p. 31-41. 2002.

SAYER, E. J. **Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems.** Biological Reviews, v. 81, n. 1, pp. 1–31. 2006.

SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; LACLAU, J. P. **Applying Sewage Sludge to *Eucalyptus grandis* Plantations: Effects on Biomass Production and Nutrient Cycling through Litterfall. Applied and Environmental Soil Science,** [S.l.], v. 2011, p. 1–11, 2011.

SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; LIBARDI, P. L.; GONÇALVES, A. N**. Fertilizer management of eucalypt plantations on sandy soil in Brazil: Initial growth and nutrient cycling.** Forest Ecology and Management, v. 301, p. 67–78, 2013.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre, RS: Departamento de Solos, UFRGS, 1995.

VITOUSEK, P. M.; SANFORD, R. L. **Nutrient cycling in moist tropical forest**. Annual Review Systems, v. 17, p. 137-167, 1986.

VITOUSEK, P. **Nutrient cycling and nutrient use efficiency.** The American Naturalist, [S.l.], v. 119, n. 4, p. 553–572, 1982.

ZHANG, H.; YUAN, W.; DONG, W.; LIU, S. **Seasonal patterns of litterfall in forest ecosystem worldwide.** Ecological Complexity, v. 20, p. 240–247, 2014.

SOBRE A ORGANIZADORA

CRISTINA ALEDI FELSEMBURGH - Possui graduação em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Viçosa (2003), mestrado em Ciências de Florestas Tropicais pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (2006), doutorado em Ecologia Aplicada pela Universidade de São Paulo (2009) e pós-doutorado na Universidade de São Paulo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Divisão de Funcionamento de Ecossistemas Tropicais (2016). Atua como professora da Universidade Federal do Oeste do Pará, no Instituto de Biodiversidade e Florestas desde 2010. Atualmente dedica-se à projetos voltados para a área de Ecologia Aplicada.

ÍNDICE REMISSIVO

U

V

ENGENHARIA FLORESTAL:

Resultados das pesquisas e inovações tecnológicas

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Ano 2022

ENGENHARIA FLORESTAL:

Resultados das pesquisas e inovações tecnológicas

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

@atenaeditora

www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Ano 2022